This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

University of Wisconsin
LIBRARY

Class SXP
Book .P33
2

TRAITÉ

DE

LA CHALEUR

II

1716-75 — Corbeil. Typ. et stér. de Crété.

TRAITÉ

DE

LA CHALEUR

CONSIDÉRÉE

DANS SES APPLICATIONS

PAR

E. PÉCLET

ANCIEN INSPECTEUR GÉNÉRAL DE L'UNIVERSITÉ
PROFESSEUR DE PHYSIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS A L'ÉCOLE CENTRALE
MEMBRE DU CONSEIL DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Quatrième édition

PUBLIÉE

PAR A. HUDELO
Répétiteur à l'École centrale,
Secrétaire de la Commission des logements insalubres.

TOME DEUXIÈME

PARIS
G. MASSON, ÉDITEUR
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Boulevard Saint-Germain, en face de l'Ecole de Médecine
M DCCC LXXVIII

55218
OCT 9 1900
SxP
.P33
2
6712507

TRAITÉ
DE LA CHALEUR

LIVRE VII

VAPORISATION.

1029. La vaporisation des liquides donne lieu, dans l'industrie, à quatre systèmes différents d'opération : 1° la formation de la vapeur qui doit être employée comme force motrice ou comme véhicule de la chaleur : nous conserverons à cette opération le nom de *vaporisation ;* 2° la production des vapeurs qui doivent être condensées et recueillies : cette opération porte le nom de *distillation ;* 3° la vaporisation qui a pour but de séparer, sans le recueillir, un liquide vaporisable mêlé avec un autre qui ne l'est pas ou qui l'est moins : cette opération est désignée sous le nom d'*évaporation ;* 4° enfin, la formation des vapeurs, qui a pour but d'enlever un corps liquide qui mouille un corps solide : cette dernière opération porte le nom de *séchage.* Dans ce livre, nous ne nous occuperons que de la vaporisation proprement dite.

CHAPITRE PREMIER

Des générateurs de vapeur en général.

1030. Avant d'examiner en détail les différentes parties qui composent un générateur et les différentes dispositions qu'on leur a données, je décrirai sommairement un appareil choisi parmi ceux qui ont été le plus généralement employés sur le continent ; c'est la

chaudière à bouilleurs, qu'on appelle en Angleterre *French boiler.*

Description d'un générateur. — Les figures 186 et 188 représentent, la première, une coupe verticale passant par l'axe de la chaudière ; la seconde, une coupe verticale perpendiculaire à la première et passant par le milieu du foyer. A, chaudière proprement dite ; N, N,

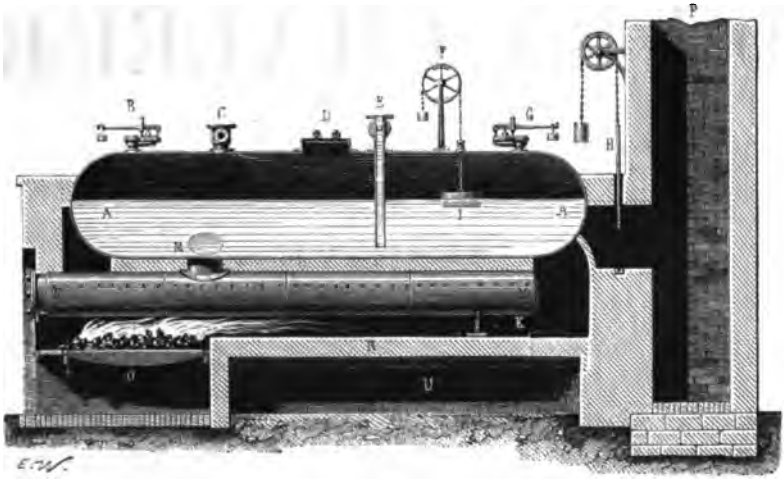


Fig. 186.

cylindres horizontaux communiquant avec la chaudière et désignés sous le nom de bouilleurs ; O, cendrier et foyer ; K, canal parcouru par la fumée, qui suit d'abord les bouilleurs et fait ensuite le tour de la chaudière avant de passer dans la cheminée P ; H, registre destiné à régler le tirage de la cheminée ; M, cuissards ou tubes de communication de la chaudière et des bouilleurs ; R, voûte sur laquelle reposent les chandeliers en fonte qui supportent les bouilleurs ; I, flotteur qui, en s'élevant ou en s'abaissant, fait mouvoir une aiguille sur un cadran divisé F, et indique ainsi le niveau de l'eau ; E, tuyau d'alimentation ; D, trou d'homme, toujours fermé pendant la marche, et qui sert à pénétrer dans la chaudière pour la nettoyer ; C, prise de vapeur, qui est munie d'un robinet ou d'une soupape-robinet, l'un et l'autre manœuvrables à la main ; B et G, soupapes de sûreté empêchant la pression dans la chaudière de dépasser une certaine limite.

Fig. 187.

1031. *Nature du métal.* — Quatre métaux seulement peuvent être employés dans la construction des générateurs, la fonte, le fer, l'acier et le cuivre. Mais la fonte ne présente aucune sécurité ; l'emploi en est d'ailleurs interdit, pour la navigation, par les ordonnances concernant les appareils à vapeur; et on peut dire que les chaudières en fonte sont complétement abandonnées. On ne peut donc hésiter qu'entre le fer, l'acier et le cuivre. Comme ce dernier métal a moins de ténacité que le fer, et qu'il est d'un prix beaucoup plus élevé, les générateurs en cuivre ne sont employés que dans quelques cas spéciaux. Dans l'appréciation de la dépense pour l'établissement d'une chaudière en cuivre ou en fer, il convient toutefois d'observer que les chaudières de cuivre hors de service ont une plus grande valeur que les chaudières en tôle.

1032. *Formes des chaudières.* — La forme des chaudières, du moins quand elles sont chauffées extérieurement, n'a qu'une bien faible influence sur la quantité de chaleur qu'elles peuvent transmettre, et, par conséquent, sur la quantité de vapeur qu'elles peuvent produire. On a cru longtemps que la forme concave était préférable pour l'absorption de la chaleur émise par le foyer et les carneaux ; mais cette opinion, qui est encore partagée par quelques auteurs, semble contraire à tous les faits industriels. Ainsi, sous le rapport de la transmission de la chaleur, la forme des chaudières est à peu près arbitraire. Mais il est une autre condition qui en restreint beaucoup le choix : c'est la résistance aux forces qui tendent à les déformer ou à les déchirer. Ces forces sont au nombre de trois : le poids du métal lui-même, le poids du liquide renfermé dans la chaudière, et enfin la force élastique de la vapeur. En général, les deux premières forces ont une si faible influence, relativement à la dernière, qu'on n'y a jamais égard, et les épaisseurs des feuilles métalliques qu'on emploie dans la construction des chaudières sont toujours de beaucoup supérieures à celles qui correspondraient à leur déformation par le poids du métal et celui du liquide qu'elles doivent renfermer. La forme de chaudière la plus avantageuse, sous le rapport de la résistance, est évidemment celle d'un cylindre à base circulaire, car elle ne peut pas changer par une pression également répartie.

1033. Lorsque les chaudières sont à *basse pression*, c'est-à-dire lorsqu'elles doivent produire de la vapeur sous une pression peu supérieure à celle de l'atmosphère, on peut leur donner des formes quelconques, pourvu qu'on maintienne, par des armatures convena-

blement placées, et d'une résistance suffisante, les parties que la pression tend à écarter. Mais la disposition la plus généralement employée consiste en un cylindre unique, à base circulaire, placé horizontalement; la fumée en parcourt successivement la partie inférieure et les parties latérales. Quelquefois les chaudières sont traversées, dans le sens de leur longueur, par un ou plusieurs tuyaux à fumée. Souvent aussi le foyer est placé dans l'intérieur de la chaudière.

Quand la vapeur doit être à *haute pression*, on employait exclusivement autrefois des chaudières cylindriques, à foyers extérieurs, et on plaçait au-dessous deux cylindres bouilleurs d'un plus petit diamètre, communiquant avec la chaudière par une ou deux tubulures; ils étaient destinés à recevoir le rayonnement du foyer et par suite toute l'action destructive de la chaleur. Mais actuellement on emploie aussi pour la *haute pression* des chaudières à foyer intérieur et multitubulaires. Dans les bateaux à vapeur et les locomotives, on a recours à des dispositions particulières, exigées par les circonstances dans lesquelles ces appareils doivent fonctionner, et qui consistent principalement dans l'emploi d'un foyer intérieur et de tubes d'un faible diamètre parcourus par la fumée.

Nous examinerons plus tard les avantages et les inconvénients de ces différentes dispositions; je me bornerai maintenant à donner quelques détails sur la construction des chaudières ordinaires.

1034. *Construction des chaudières.* — Les feuilles de tôle sont réunies par des rivets fixés à chaud; le diamètre des trous est ordinairement un peu plus petit que les intervalles qui les séparent. Les têtes des chaudières sont de forme plus ou moins convexe et quelquefois hémisphérique. Les différentes tubulures qui se trouvent à la partie supérieure de la chaudière sont en fonte; elles sont fixées par des rivets ou par des boulons.

1035. La tubulure qui porte le nom de *trou d'homme* (*fig.* 186) est elliptique ou cylindrique; sa face supérieure présente un orifice elliptique fermé par un tampon elliptique en fonte dont les deux diamètres excèdent de 3 à 4 centimètres ceux de l'orifice; on l'introduit en présentant son plus petit diamètre au plus grand de l'ouverture, et on le maintient en place par des boulons habituellement mis à la fonte dans la plaque de fermeture, et qui

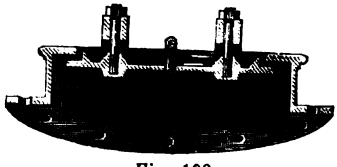


Fig. 188.

passent à travers deux *barrettes* de fer s'appuyant sur les bords de la tubulure. Pour rendre le joint hermétique, on interpose du mastic au minium avec de la filasse, ou tout autre mastic, ou bien encore une rondelle de caoutchouc, ou enfin une rondelle de plomb enduite de mastic, entre les surfaces de contact.

1036. Les bouilleurs sont terminés à l'arrière par une surface convexe, et en avant par un manchon en fonte, fermé, comme le trou d'homme, par un autoclave tout semblable au précédent et représenté figures 189 et 190. La tôle est rivée sur le manchon en fonte, qu'on appelle tête de bouilleur. Les extrémités d'avant des bouilleurs s'appuient sur une ou deux barres de fer placées derrière la plaque de fonte sur laquelle sont posées les portes du foyer et du cendrier. A une certaine distance de la face antérieure du fourneau, au delà du foyer, les bouilleurs reposent sur des *chandeliers* en fonte. Les chaudières sont ordinairement soutenues par des oreilles en fer assez prolongées pour porter sur le plein de la maçonnerie ; d'autres fois ces oreilles sont courtes et s'appuient sur des chandeliers en fonte logés dans les parois des carneaux et d'une hauteur suffisante pour qu'ils puissent reposer sur une maçonnerie plus solide.

Fig. 189.

Fig. 190.

1037. *Dimensions des chaudières.* — Dans tous les cas qui peuvent se présenter, la quantité de vapeur à produire par heure est déterminée par l'effet qu'on veut obtenir. La quantité de combustible à brûler s'ensuit nécessairement ; en effet, la quantité de chaleur emportée par le gaz dans la cheminée étant à peu près le quart de la chaleur totale développée par la combustion, il en résulte que, s'il n'y avait pas d'autres pertes, les 3/4 de la chaleur seraient absorbés par la chaudière, et par conséquent, en multipliant par 4/3 la quantité de combustible théoriquement nécessaire à la production de la vapeur demandée, on aurait celle qui doit être consommée. Ce calcul donnerait à peu près 9 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille. Mais on est loin d'obtenir un pareil résultat avec les chaudières et les foyers ordinaires ; la production la plus habituelle de vapeur par kilogramme de houille est comprise entre 6

et 7 kilogrammes. Cette différence provient de la perte de chaleur par la surface du fourneau, de l'air qui pénètre à travers la maçonnerie, de l'imperfection de la combustion et d'un trop grand excès d'air admis dans le foyer, et de l'ouverture des portes. Ainsi on n'obtient guère que la moitié de l'effet utile que le combustible pourrait produire : c'est le résultat sur lequel on peut compter au minimum pour tous les combustibles ; et, pour l'obtenir, il est même nécessaire que la chaudière et les carneaux aient les dimensions convenables.

Remarquons d'abord que la capacité de la chaudière est sans influence, car la chaleur n'est reçue que par la surface chauffée.

La chaleur qui se produit dans le foyer se dissipe, comme nous l'avons dit, de deux manières différentes : par le rayonnement et par les gaz chauds qui s'échappent. Une partie de la chaudière s'échauffe par le rayonnement et par le contact des gaz chauds, et une partie seulement par ce dernier mode. On conçoit facilement qu'à mesure que la chaudière est plus longue, la fumée se trouvant en contact avec elle dans une plus grande étendue se refroidit toujours davantage, et qu'il existe une longueur de circuit au delà de laquelle la fumée a seulement la température de 300° à laquelle elle est ordinairement abandonnée dans la cheminée.

Il résulte de là que chaque mètre carré de surface de chauffe absorbe une quantité de chaleur qui diminue très-rapidement, depuis le foyer jusqu'à l'extrémité de la chaudière abandonnée par la fumée, attendu que l'influence du rayonnement diminue à mesure que l'inclinaison des rayons et la distance augmentent ; et que la température de la fumée décroît aussi très-rapidement, à mesure qu'elle s'éloigne du foyer, par le fait même de l'absorption de la chaleur.

1038. On a fait des expériences assez exactes pour déterminer la quantité de chaleur qui peut passer à travers un mètre carré de surface de différents métaux exposée au feu le plus ardent, et de la manière la plus avantageuse. D'après M. Christian, le maximum de vapeur que peut produire dans une heure 1 mètre carré de surface de chaudière de fonte exposée au feu le plus violent et entièrement plongée dans la flamme est de 100 kilogrammes. M. Clément a obtenu le même nombre pour une chaudière de cuivre de 3 millimètres d'épaisseur placée dans les mêmes circonstances. Il résulte de là, comme nous l'avons déjà dit, que la nature et l'épaisseur du métal sont sans influence sur la quantité de vapeur produite, et qu'on doit admettre que, pour la partie de la chaudière qui se trouve immédiatement au-dessus du foyer, chaque mètre carré de surface

fournirait 100 kilogrammes de vapeur par heure, si la température du foyer était la même que dans les expériences citées ci-dessus.

Mais il est impossible de rien calculer pour ce qui se passe au delà : les phénomènes sont trop compliqués et dépendent trop des circonstances particulières à chaque chaudière. Il faut alors s'en rapporter à des expériences qui donnent la quantité moyenne de vapeur fournie par chaque mètre carré de surface de chauffe, quand la fumée ne possède à sa sortie que la température convenable au tirage.

1039. Or, il résulte de l'observation des chaudières bien établies, qui produisent de 6 à 7 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, et qui abandonnent la fumée à environ 300°, que la production moyenne de vapeur par heure et par mètre carré est comprise entre 15 et 30 kilogrammes.

Il est important de remarquer qu'une variation, même assez considérable dans un sens ou dans l'autre, dans le chiffre moyen que nous venons d'indiquer, n'aurait qu'une faible influence sur l'effet utile produit, parce que les variations, dans l'étendue de la surface de chauffe, se portent toujours sur les parties du générateur qui sont abandonnées les dernières par l'air chaud, et qui, par suite, produisent le moins de vapeur.

On doit à M. Cavé une longue série d'expériences sur des chaudières ayant des surfaces de chauffe très-différentes : pour la même espèce de houille, et des surfaces de chauffe correspondant à une production de 24 kilogrammes et de 10 kilogrammes de vapeur par mètre carré, les quantités d'eau vaporisée ont été de $6^k,90$ et $7^k,20$ par kilogramme de houille ; les consommations de houille par décimètre carré de grille et par heure étaient de $0^k,46$ et $0^k,24$; mais il paraît, d'après des expériences, faites sur la même chaudière, avec des surfaces de grilles différentes, que la grandeur des grilles a peu d'influence. Dans d'autres expériences où la surface de chauffe correspondait à une production de 20 kilogrammes de vapeur par mètre carré, on a obtenu $6^k,75$ de vapeur par kilogramme de la même houille. On voit, d'après ces nombres, combien une variation, même assez considérable, dans l'étendue des surfaces de chauffe, a peu d'influence sur l'effet utile produit.

1040. On doit à M. Graham des expériences dans lesquelles il a cherché à déterminer la loi de décroissement que subit la production de la vapeur lorsque la surface de chauffe est à des distances diverses du foyer; il a disposé à la suite les unes des autres quatre chau-

dières identiques ; ces chaudières étaient chauffées par le même foyer dont les gaz passaient successivement sous chacune d'elles. Les quantités de vapeur produites dans ces chaudières ont été respectivement et dans le même temps :

100, 27, 13, 8 ;

on voit donc qu'en quadruplant la surface de chauffe, on n'a augmenté la production de vapeur que dans le rapport de 148 à 100.

La quantité absolue de vapeur produite par un mètre carré de surface de chauffe dépend d'ailleurs d'une façon notable de la conduite du feu, des dispositions du foyer et du type de chaudière adopté ; il est donc impossible de fixer *à priori* la grandeur et la surface de chauffe d'une chaudière sans tenir compte de ces divers éléments ; nous aurons à revenir sur cette question quand nous aurons étudié les différents types de chaudières et les conditions de leur marche, non-seulement au point de vue du rendement en vapeur relativement à leur surface, mais encore de la production économique de la vapeur.

1041. Connaissant, dans chaque cas particulier, la quantité de vapeur à produire dans une heure, et sachant que chaque mètre carré fournit moyennement, dans les conditions de la pratique, 12 à 15 kilogrammes de vapeur, on trouvera facilement l'étendue de la surface de chauffe de la chaudière, et par suite toutes les dimensions, quand on aura déterminé la forme qu'elle doit avoir. On compte que la surface de chauffe des bouilleurs est égale à leur surface totale, quand ils sont plongés tout entiers dans le premier carneau du foyer, et que celle de la chaudière est égale à la partie de sa surface en contact avec les gaz sortis du foyer.

Ordinairement on construit plusieurs chaudières à vapeur, presque toujours trois, lorsque deux suffisent à l'effet qu'on veut produire, afin d'éviter le chômage qui aurait lieu pendant les réparations. Dans ce cas, deux seulement sont constamment en activité. La vapeur est reçue dans un même tuyau communiquant à chaque chaudière par un branchement muni d'un robinet ou d'une soupape.

1042. *Épaisseur des chaudières.* — L'épaisseur que l'on doit donner aux parois des chaudières dépend de la nature du métal, de leur forme, de leur grandeur et des pressions auxquelles elles seront soumises. Il serait impossible de déterminer cette épaisseur pour les chaudières qui ne seraient ni sphériques ni cylindriques à base circulaire, parce que la pression intérieure tendrait d'abord à les dé-

former, et que la résistance qu'elles exerceraient varierait avec leur forme, suivant des lois trop compliquées. Autrefois les chaudières à basse pression avaient la forme d'un cylindre, dont la base était formée d'un rectangle surmonté d'un demi-cercle ; mais les côtés latéraux et la partie inférieure étaient un peu concaves. Ces chaudières, ainsi disposées par Watt, désignées en Angleterre sous le nom de chaudières-waggon et, en France, sous celui de chaudières en tombeau, étaient munies intérieurement d'armatures destinées à s'opposer à leur déformation ; malgré cette précaution, elles se détérioraient promptement et n'étaient presque jamais étanches. Maintenant, les chaudières de manufactures sont toujours des cylindres à base circulaire, quelle que soit la pression de la vapeur qu'elles doivent produire, parce que, de cette façon, elles ne peuvent pas changer de forme.

1043. Lorsqu'une chaudière cylindrique à base circulaire est pressée intérieurement par la vapeur, en supposant que le métal soit homogène et ait partout la même épaisseur, elle ne peut se rompre que suivant deux génératrices opposées, ou suivant une section perpendiculaire à son axe, à cause de la symétrie du corps.

1044. Cherchons d'abord la résistance à la rupture suivant deux génératrices. Le cylindre pouvant être considéré comme formé d'anneaux placés les uns à côté des autres, chacun, dans le cas que nous considérons, résistera isolément à la pression qui tend à l'ouvrir ; ainsi, la résistance d'un cylindre à une pression qui tend à le déchirer suivant une arête est indépendante de sa longueur et égale à celle d'un des anneaux qui le composent.

Soit ABCD (*fig.* 191) un de ces anneaux ayant, par exemple, 1 mètre de hauteur et une épaisseur *e* ; il sera pressé intérieurement par la vapeur dans la direction des rayons. Si l'on mène un diamètre quelconque AB, il est évident que les forces qui agiront au point A, dans les directions A*m* et A*n*, et qui tendront à ouvrir l'anneau en ce point, se trouveront de même au point B, de sorte que l'anneau tendra également à se déchirer au point A et au point B. Les tractions

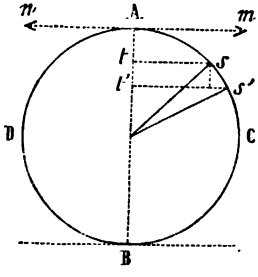


Fig. 191.

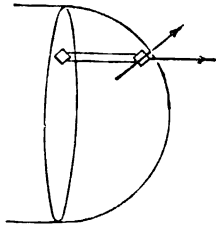


Fig. 192.

qui se manifestent aux points A et B proviennent des pressions qui s'exercent sur les demi-cercles ACB et ADB, et la résultante de ces pressions est facile à trouver. Représentons par p la pression de la vapeur en kilogrammes par millimètre carré ; la pression exercée sur une partie très-petite ss' de l'anneau sera $p \times ss'$, et sera dirigée suivant le rayon qui passe par le milieu de ss'. Décomposons cette force en deux autres, l'une parallèle, et l'autre perpendiculaire au diamètre AB ; il est évident que la première sera sans influence sur la traction aux points A et B ; la seconde s'obtiendra en multipliant $p \times ss'$ par le cosinus de l'angle formé par la ligne ss' avec la ligne AB ; ainsi la composante perpendiculaire à AB sera $p \times ss' \times \cos(ss', AB)$. Mais $ss' \cos(ss', AB)$ est égal à la projection tt' de l'arc ss' sur le diamètre AB ; ainsi, la composante cherchée sera $p \times tt'$, et la somme totale des composantes sera $p \times AB$. Comme cette résultante se partage en deux composantes égales appliquées aux points A et B, en chacun de ces points les tractions opposées seront représentées par $\frac{1}{2}\, AB \times p$ ou par pR ; R étant le rayon de l'anneau.

Ainsi, en désignant par K la résistance à la rupture par traction d'une barre ayant un millimètre de section, à l'instant de la rupture de l'anneau, on aura

$$Ke = pR.$$

1045. Examinons maintenant la résistance de la chaudière à la rupture suivant un anneau. Deux anneaux contigus tendent évidemment à se séparer en vertu des pressions exercées par la vapeur sur les deux fonds : or, d'après ce que nous avons dit précédemment, la pression exercée par la vapeur, sur un élément quelconque d'un des bouts de la chaudière, pourra (*fig.* 192) se décomposer en deux : l'une, perpendiculaire à l'axe, sera sans influence sur la traction de deux anneaux contigus, et l'autre, parallèle à l'axe, aura pour valeur la pression sur l'unité de surface multipliée par la projection de l'élément sur un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre ; par conséquent, la somme totale de ces composantes sera égale à $p\pi R^2$; et, comme cette pression agit sur la circonférence des anneaux, on aura

$$2\pi ReK = p\pi R^2; \quad \text{ou} \quad Ke = \frac{pR}{2}.$$

Ainsi, la résistance d'une chaudière à la rupture suivant un anneau est deux fois plus grande que sa résistance à la rupture suivant deux génératrices ; par conséquent, l'épaisseur suffisante pour résister à la

rupture suivant la direction des génératrices sera plus que suffisante pour résister à la rupture suivant un anneau.

1046. L'épaisseur e, qu'il faudrait donner à une chaudière pour qu'elle éclatât par une pression p de la vapeur, serait alors donnée par l'équation $e = Rp : K$, en prenant pour unité le centimètre, et en désignant par p le nombre de kilogrammes qui mesurent la pression effective de la vapeur.

La valeur du coefficient K de rupture est variable non-seulement avec la nature de la substance dont est faite la chaudière, mais encore avec les conditions du travail auquel elle a été soumise dans sa fabrication et enfin de la température à laquelle elle se trouve soumise pendant la marche de la chaudière. Nous allons indiquer, pour chacune des matières qui peuvent entrer dans la construction des générateurs de vapeur, les principales données d'expérience qui fournissent la valeur de ce coefficient.

1047. Les expériences les plus complètes et qui paraissent présenter le plus de certitude relativement à la résistance du fer sont celles de M. Fairbairn.

L'appareil dont il s'est servi consiste en un grand levier en fer forgé reposant sur un bâtis en fonte sur lequel il peut osciller ; à l'une de ses extrémités, ce levier agit au moyen d'une chaîne sur les barres que l'on veut essayer ; celles-ci sont placées dans une boîte qui peut recevoir un mélange réfrigérant ou bien de l'eau ou bien de l'huile qu'on chauffe au moyen d'un fourneau qui entoure la boîte ; une tige en fer boulonnée sur le bâtis traverse la boîte et vient se rattacher à la barre d'essai qu'elle maintient. La seconde extrémité du levier reçoit un plateau de balance qu'on charge de poids convenables.

Les barres d'essai d'une largeur de 127 millimètres présentaient une partie retrécie de 51 millimètres placées dans le bain, de façon à ce que la rupture s'accomplît sur cette partie même et par conséquent à la température du bain.

Les expériences ont porté sur les tôles de chaudière du Staffordshire ; on les a essayées successivement suivant le sens du laminage et suivant le sens perpendiculaire.

Les nombres renfermés dans le tableau suivant sont dans chaque cas la moyenne d'une série d'expériences.

TEMPÉRATURE.	NOMBRE D'EXPÉRIENCES.	CHARGE DE RUPTURE en kilogrammes par millimetre carré.	SENS DE LA TRACTION.
— 17°,8	10	34k,3	Longitudinale.
15°,6	14	35k,1	
43°,3	7	29k,4	
49°,0	14	28k,4	
100°,0	2	28k.0	
100°,0	14	30k,6	
132°,2	8	30k,8	
171°,0	7	35k,0	
201°,7	13	32k,2	
15°,6	6	28k,2	Transversale.
15°,6	13	30k,4	
43°,3	5	30k,9	
100°,0	10	31k,9	
171°,0	8	29k.4	
Rouge naissant.	10	26k,6	
Rouge sombre..	1	21k,0	

Les tôles soumises à l'expérience avaient de 6 à 9 millimètres d'épaisseur.

D'autres expériences faites dans des conditions analogues sur le fer de rivets ont fourni les résultats suivants :

TEMPÉRATURE.	CHARGE DE RUPTURE par millimètre carré.	OBSERVATIONS.
0°,0	44k,2	
16°,0	43k,3	
32°,2	44k,5	
45°,5	49k,5	
100°,0	57k,8	Trop grande.
100°,0	51k,8	
100°,0	56k,6	
121°,1	57k,5	
132°,0	60k,2	
154°,4	56k,3	
162°,8	61k,2	
212°.7	57k,2	
223°,8	60k,2	
Rouge sombre.	25k,2	Trop grande.

1048. D'après les expériences faites en Amérique par une commission de l'Institut de Franklin sur la résistance des métaux employés à la construction des chaudières à vapeur, la résistance de la tôle, à différentes températures, est donnée par le tableau suivant, la résistance à la température ordinaire étant représentée par 1 :

271°.....	0,9262	554°.....	0,5522
350°.....	0,8845	599°.....	0,4486
408°.....	0,8411	642°.....	0,3648
440°.....	0,7990	708°.....	0,3010
500°.....	0,6676		

1049. De l'ensemble de ces expériences, il résulte que le fer, soit à l'état de tôle, soit à l'état de barre, présente un maximum de résistance quand la température s'élève ; pour la tôle, ce maximum a lieu vers 180° où la charge de rupture est d'environ 35 kilogrammes ; pour les barres, le maximum est obtenu vers 170° et la charge de rupture est alors de 61 kilogrammes environ ; au delà de ce maximum la résistance diminue et l'on voit que pour la température du rouge sombre, elle n'est plus guère que la moitié de celle qui correspond au maximum.

Il faut aussi remarquer que la résistance de la tôle suivant le sens longitudinal est un peu plus grande que suivant le sens perpendiculaire ; on devra donc s'arranger pour profiter de cet excès de résistance de façon à placer les fibres de la tôle dans le sens de la section de la chaudière ; la plus faible résistance qui en résultera dans le sens de la longueur de la chaudière n'aura aucun inconvénient puisque, comme nous l'avons vu, il y a, dans ce sens, un effort moitié moindre que dans le premier.

1050. Lorsqu'une chaudière cylindrique, fermée, est pressée intérieurement par la vapeur, le métal est tendu simultanément, et dans le sens de la longueur du cylindre, et dans une direction transversale. Les expériences sur la ténacité des métaux ayant été faites sans que les métaux fussent soumis à une traction latérale, il était important de vérifier si cette circonstance n'avait point d'influence sur la résistance qu'ils présentent. Navier a fait à ce sujet deux expériences décisives : cet ingénieur a fait construire deux vases sphériques en tôle, qui avaient $0^m,33$ et $0^m,28$ de diamètre et $0^m,00266$ d'épaisseur : ces deux sphères ont été rompues, au moyen d'une presse hydraulique, par des pressions de 144 et de 163 atmosphères. Il résulte de là que la résistance de la matière n'est point affaiblie par des tractions égales dirigées dans tous les sens, et qu'elle est la même que si elle était tirée dans une seule direction. En effet, la tôle a été rompue par une tension égale dans tous les sens à environ 46 kilogrammes par millimètre carré de section, nombre un peu plus grand que celui qui est donné par les expériences directes ; cette différence peut être attribuée à ce que la sphère était consoli-

dée par un cercle, où la tôle était doublée et soudée, et probablement aussi à ce que le fer était d'une très-bonne qualité.

1051. Différentes circonstances font qu'on ne peut pas dans la pratique calculer l'épaisseur de la chaudière en prenant le coefficient voisin du coefficient de rupture ; l'une des principales est l'influence de la rivure des joints des feuilles de tôle. Celles-ci sont réunies par des rivets également espacés dont les diamètres diffèrent peu des intervalles qui les séparent, et par cette seule circonstance la résistance de la chaudière est diminuée de près de moitié. Aussi, dans presque toutes les chaudières qui ont éclaté, la rupture a eu lieu suivant une ligne qui passe par les centres des trous occupés par les rivets. Des expériences faites avec beaucoup de soin par M. Fairbairn constatent l'exactitude de l'influence des rivets sur la résistance des chaudières ; dans le cas d'un simple rang de rivets la résistance n'est plus que 0,56 et dans le cas d'une double rivure elle est de 0,70. De plus, il y a lieu de se garantir contre les défauts que peut présenter la tôle, de là la nécessité d'un excès de résistance qu'on a souvent exagérée et qu'on peut réduire dans la plupart des cas, surtout si, comme devraient toujours le faire les constructeurs, la résistance de chaque feuille de tôle était déterminée avant son emploi, au moyen des machines spéciales qui sont actuellement d'un service courant.

Il faut enfin tenir compte de l'usure que subira la chaudière par suite du service auquel elle sera soumise, ce qui exige encore un excès d'épaisseur pour qu'elles aient une certaine durée.

En tenant compte de ces considérations, si l'on prend l'effort qu'on peut faire supporter avec sécurité égal à 3 kilogrammes par millimètre carré, l'épaisseur d'une chaudière sera fournie par l'équation

$$e = \frac{Rp}{300} \quad \text{ou sensiblement} \quad e = \frac{33Rp}{10000},$$

mais comme pour $p = 0$ l'épaisseur ne peut pas être nulle, il faudra prendre une expression de la forme

$$e = \frac{33Rp + N}{10000}.$$

L'instruction annexée à la loi du 12 juillet 1828, et qui n'est plus en vigueur, donnait la formule suivante pour l'épaisseur que doivent avoir les chaudières à vapeur :

$$e = \frac{36Rp + 3000}{10000}.$$

Dans cette expression, e et R sont estimés en centimètres.

Cette formule conduit évidemment à donner à la chaudière une épaisseur de $0^m,003$, indépendamment de celle qui est exigée par la pression qu'elle doit supporter.

Cette formule donne, dans le cas des grands diamètres, des nombres notablement trop forts ; c'est qu'en effet, s'il est nécessaire d'avoir un surcroît d'épaisseur pour tenir compte des éventualités que nous avons indiquées plus haut, il n'est pas nécessaire que cet excès augmente proportionnellement à l'épaisseur elle-même.

Le décret de 1865 ne prescrit aucune formule pour le calcul de l'épaisseur des chaudières ; la détermination de cet élément est laissée au constructeur sous sa responsabilité.

1052. Quant aux chaudières ayant des tubes intérieurs parcourus par la fumée, on peut se rendre compte de la résistance des tuyaux soumis à des pressions extérieures, en remarquant que, si les tubes étaient exactement circulaires, partout d'une égale épaisseur, et si la pression était la même sur tous les points, cette pression tendrait à écraser le tuyau dans toutes les directions ; et, comme la résistance des métaux à l'écrasement est plus grande que leur résistance à la rupture par traction, le tuyau offrirait une plus grande résistance à la pression quand celle-ci est extérieure que quand elle est intérieure. Mais si les diamètres du tuyau n'étaient pas parfaitement égaux, ou si, même pendant un temps très-court, les pressions n'étaient pas les mêmes sur toute sa surface, les forces extérieures tendraient à l'aplatir, d'autant plus que l'aplatissement aurait fait déjà plus de progrès, et le métal ne résisterait qu'à la flexion. Toutefois les tubes intérieurs peuvent être employés sans danger, si on leur donne une épaisseur suffisante, et leur emploi, qu'on évitait soigneusement autrefois, tend à se répandre actuellement.

1053. M. Fairbairn a fait des expériences directes pour déterminer la résistance des tubes à l'écrasement. Dans un cylindre en fonte était placé le tube fermé en haut et en bas par deux rondelles à nervures, le tube était soutenu par une tige boulonnée dans le fond du cylindre ; la rondelle supérieure portait un tube qui traversait le couvercle du cylindre et mettait l'intérieur du tube en expérience en communication avec l'atmosphère ; la pression était produite dans l'intérieur du cylindre en y comprimant de l'eau au moyen d'une pompe. Une soupape de sûreté et un manomètre mesuraient la pres-

sion. Les résultats des expériences sont exprimés par la formule

$$P = 366600 \frac{e^{2,19}}{LD}.$$

Dans cette formule P représente la pression effective qui détermine l'écrasement, exprimée en kilogrammes par centimètre carré, e l'épaisseur du tube, L sa longueur et D son diamètre exprimés en millimètres. Pour obtenir la sécurité, il convient de réduire le coefficient, et on pourra prendre, pour calculer l'épaisseur, la formule

$$e^{2,19} = \frac{PLD}{73300}.$$

M. Fairbairn a aussi fait plusieurs expériences sur des tubes de section elliptique dont les diamètres différaient d'environ un quart de la longueur du plus grand, il a trouvé que, dans ce cas, il suffira, pour obtenir la charge d'écrasement ou l'épaisseur de la tôle, de remplacer dans les deux formules précédentes D par $\frac{2a^2}{b}$; a étant la longueur du diamètre et b celle du petit.

1054. *Emploi de l'acier.* — L'usage de l'acier pour les chaudières à vapeur est récent. Dès l'apparition dans le commerce des tôles d'acier provenant de l'acier Bessemer, les ingénieurs pensèrent à les appliquer à la construction des générateurs de vapeur. On s'occupa d'abord de leur application aux locomotives ; mais les matières employées ne donnèrent pas de bons résultats ; tout en ne rompant que sous une charge de 56 à 57 kilogrammes par millimètre carré, tandis que les tôles ordinaires de fer rompent à 30 ou 35 kilogrammes, l'allongement des tôles d'acier à la rupture n'était que de 4 à 5 pour 100.

Des barres d'acier Krupp, essayées après l'exposition de 1855 par ordre du ministre de la marine, au point de vue de la possibilité de leur substitution au fer dans la fabrication des câbles, n'atteignirent guère que cette limite, tandis que les bons fers corroyés, livrés par nos forges pour cette destination, supportent un allongement à la rupture de près de 25 pour 100. Le fer était donc préférable pour cet usage.

Il faut ajouter que pour les premiers essais de la tôle d'acier, le travail de façonnage, même pour des formes compliquées, s'exécutait comme on l'aurait fait pour des tôles de fer ; mais sur les tôles plus douces qu'on produit maintenant, le façonnage doit être exécuté avec des précautions toutes spéciales, comme nous le verrons

plus loin ; aussi, quand on ne les observe pas, est-on sujet à voir des fissures, des déchirures se déclarer dans l'acier, sans qu'aucune cause apparente ne les motive, et cela même à l'atelier de chaudronnerie, avant tout usage de la pièce fabriquée.

Pour l'application aux chaudières, il ne suffit pas que la tôle d'acier offre un très-haut chiffre de résistance à la rupture. Il faut surtout que la charge limite d'élasticité, c'est-à-dire le poids au delà duquel les allongements cessent d'être proportionnels aux charges supportées, soit élevé ; il faut de plus que les allongements à la rupture soient beaucoup plus grands que ceux que nous avons indiqués plus haut.

Maintenant, et depuis plusieurs années déjà, l'industrie métallurgique est parvenue à fabriquer des tôles d'acier moins carburé que celui qu'on obtenait autrefois, et qui satisfait aux conditions que nous venons d'énoncer. L'emploi du *ferro-manganèse* a contribué à ce résultat et servira à rendre cette fabrication plus régulière.

On a des tôles d'acier pour lesquelles les charges de rupture sont de 45, 50 et même 80 kilogrammes par millimètre carré et pour lesquelles les allongements à la rupture atteignent 25, 20, 15, ou 10 pour 100. Ces aciers sont fabriqués soit au convertisseur Bessemer, soit sur sole dans le four Martin-Siémens ; les chiffres suivants sont les moyennes de plus de cinquante recettes opérées au Creusot et à Terrenoire par les ingénieurs de la Marine pour les fournitures à livrer à nos ports.

Les tôles douces Bessemer ont donné comme résistance à la rupture par millimètre carré de la section initiale : $48^k,80$ pour le sens du laminage avec 22 pour 100 d'allongement et $48^k,60$ perpendiculairement au laminage avec 21 pour 100 d'allongement.

Les tôles douces Martin ont donné $47^k,10$ pour charge de rupture en longueur avec 24.20 pour 100 d'allongement, et $47^k,30$ en travers avec 23,50 pour 100 d'allongement.

On observera que, contrairement à ce qui se passe pour les tôles de fer, ces tôles d'acier présentent presque exactement la même résistance dans le sens du laminage que dans le sens perpendiculaire. Cela semble naturel si l'on réfléchit que la matière est un métal ondu. On a trouvé cependant, dans une autre forge, pour des tôles d'acier Bessemer, 52 kilogrammes pour charge de rupture avec 18 pour 100 d'allongement, dans le sens du laminage, et 48 kilogrammes avec 22 pour 100 d'allongement, dans le sens perpendiculaire.

A l'Amirauté anglaise, d'après l'ouvrage de P. Reed, on exigeait pour des tôles d'acier 25 kilogrammes de résistance à la rupture par

millimètre carré dans le sens du laminage et 47 kilogrammes dans l'autre sens.

Des expériences faites à Vienne (Autriche), par M. de Burg sur des tôles douces d'acier pour chaudières, avaient donné de 52 à 58 kilogrammes de résistance à la rupture par millimètre carré avec un allongement de 14 à 21 pour 100, ce qui avait conduit l'auteur à conclure que ces tôles pouvaient avoir les 2/3 ou les 5/8 de l'épaisseur des tôles de fer.

Le constructeur spécial de chaudières en acier, M. Stuckenholz (à Witten en Westphalie) compte 58 kilogrammes par millimètre carré pour les tôles d'Essen et de Bochum qu'il emploie.

En regard des chiffres précédents, nous mettrons ceux qui sont relatifs à la tôle de fer, afin d'en pouvoir déterminer la diminution d'épaisseur que l'on peut adopter en substituant l'acier au fer. On admet généralement que la résistance à la rupture des tôles de fer varie de 30 à 41 kilogrammes suivant leur provenance et leur qualité. Divers expérimentateurs ont trouvé, comme charges de rupture, pour les tôles puddlées, 30 kilogrammes ; $31^k,48$; 32 kilogrammes ; $35^k,46$ et pour les tôles de Low-Moor, 41 à 42 kilogrammes. La résistance dans le sens perpendiculaire au laminage est habituellement moindre que dans le sens du laminage ; suivant la nature des tôles, la première a été de 0,87 à 0,90 de la seconde.

Les allongements, variables avec la qualité, sont de 5 à 10 pour 100 et parfois atteignent le chiffre de fer à câbles.

1055. Connaissant la charge limite d'élasticité de la tôle douce d'acier et celle de la tôle de fer qu'elle doit remplacer, il est facile de déterminer l'épaisseur à donner à la tôle d'acier.

Nous trouvons dans le tableau de la classification des aciers du Creusot que pour la tôle douce d'acier, rompant sous la charge de $49^k,20$ par millimètre carré, la charge limite d'élasticité est de $26^k,60$; pour la bonne tôle de fer, on peut admettre que cette limite va de 12 à 15 kilogrammes.

En appelant a l'épaisseur de la tôle d'acier et f celle de la tôle de fer, on a la relation

$$26a = 15f, \quad \text{d'où} \quad a = \frac{15}{26}f = 0,577f;$$

si f était de $0^m,011$, épaisseur fréquemment employée, a deviendrait

$$0,577 \times 0,011 = 0,00634,$$

soit 6 1/2 millimètres.

En prenant 22 kilogrammes pour limite d'élasticité correspondant à 45 kilogrammes de rupture, c'est-à-dire les conditions des marchés de la Marine, on aurait

$$22a = 15f, \quad \text{d'où} \quad a = \frac{15}{22}f, \quad a = 0{,}681f,$$

et si

$$f = 11^{mm}, \quad \text{on a} \quad a = 0{,}681f = 7^{mm},59,$$

soit 7^{mm}, 1/2.

Les épaisseurs des bonnes tôles douces d'acier pouraient donc être, suivant les qualités, égales à 0,60 ou 0,70 de celles des bonnes tôles de fer placées dans les mêmes conditions de résistance.

On peut admettre qu'il est possible d'avoir des tôles douces d'acier dont la résistance à la rupture soit de 48 à 50 kilogrammes par millimètre carré et des tôles de fer pour lesquelles la même résistance soit de 32 à 35 kilogrammes. On fera travailler ces tôles au 1/6 ou au 1/5 suivant qu'elles seront plus ou moins exposées à l'usure, contre laquelle on pourrait d'ailleurs se prémunir en augmentant l'épaisseur de 1, 2 ou 3 millimètres suivant les cas.

1056. D'après les différences qui existent entre les diverses valeurs de résistance que nous avons rapportées, on comprend de quel intérêt il serait pour les constructeur de chaudière de posséder dans leurs ateliers une machine à essayer les tôles ; comme nous l'avons déjà dit, le décret de 1865 ne fixe plus d'épaisseurs et impose aux constructeurs par cela même un surcroît de responsabilité, contre lequel ils peuvent se précautionner soit par un essai direct, soit en obtenant des forges que ces essais y soient faits lors des livraisons.

1057. M. Barba, ingénieur des constructions navales, a étudié les effets produits sur l'acier par le perçage, le façonnage et le recuit. Ses expériences, d'une très-haute importance, sont exposées dans le mémoire qu'il a publié (*Baudry*, éditeur. Paris, 1875).

Ces expériences ont été faites dans les ateliers de Lorient sur des tôles douces d'acier commandées par la Marine au Creusot et à Terrenoire ; le cahier des charges portait que ces tôles offriraient une résistance *minima* à la rupture de 45 kilogrammes et un allongement d'au moins 20 pour 100 ; conditions qui furent remplies, comme nous l'avons vu et au delà ; cet acier est celui qu'on tend à désigner en France sous le nom de métal fondu.

Il résulte de ces expériences et de celles qui ont été faites dans

les ateliers de l'Industrie que pour les tôles d'acier, les trous devraient être forés et non poinçonnés comme on a fait pour la tôle de fer; le cisaillage devrait être remplacé par l'action de la machine à raboter ; au lieu de travailler une pièce à forme compliquée par petites parties et avec des réchauffages partiels comme pour la tôle de fer, il faudrait agir sur la totalité des surfaces façonnées ; enfin les pièces qui ont reçu des façons devraient subir un recuit au rouge-cerise, aussitôt la pièce terminée. Ce recuit peut être effectué au charbon de bois en tas; mais pour des pièces de grande dimension, les fours à gaz offrent, indépendamment de l'économie, la facilité d'obtenir, sans la dépasser, la température convenable sur une grande étendue.

Un atelier pour la chaudronnerie d'acier a donc besoin d'un outillage spécial pour faire un bon travail courant et doit être pourvu d'une force motrice plus considérable que pour la tôle de fer.

D'après les expériences de M. Barba, le forage des trous de rivets, le découpage ou l'affranchissement des tôles à la machine à raboter n'altéreraient ni l'homogénéité ni la résistance de l'acier; il n'en est pas de même du poinçonnage, du cisaillage, ni du martelage fait sans précaution: dans ces actions par chocs, la limite d'élasticité est dépassée et il se produit sur le point attaqué une espèce de trempe locale d'où résultent ces ruptures instantanées que l'on a observées sur les pièces façonnées au sortir même des mains de l'ouvrier. Le recuit au rouge rétablit l'homogénéité et fait disparaître l'affaiblissement produit, mais il n'est pas toujours facile ni même possible à opérer sur les grandes pièces.

1058. M. Barba a constaté que l'on peut supprimer presque complétement l'inconvénient du poinçonnage en enlevant au foret, sur la rive des trous, une zone de 1 millimètre de largeur; on supprime de même l'inconvénient du cisaillage par l'enlèvement d'une zone de 1 millimètre au moyen du rabotage. La résistance des barrettes d'essai percées d'un trou poinçonné a été de 1/5 environ moindre que celle des barrettes forées ; en élargissant de 2 millimètres le diamètre du trou poinçonné, l'affaiblissement de résistance disparaît presque complétement.

M. Barba admet que pour les tôles d'acier Bessemer la perte apparente de ténacité produite par le poinçonnage est de 22 pour 100 et pour les tôles Martin de 21 pour 100 ; ces deux nombres sont sensiblement les mêmes.

1059. Cet ingénieur a constaté sur la tôle de fer les mêmes effets

du forage et du poinçonnage, mais à un degré moindre. La per apparente produite par le poinçonnage serait d'environ 12 p. 100 et se trouve sensiblement supprimée en enlevant au foret, autour du trou poinçonné, une zone de 2 millimètres de largeur. Il paraît donc que dans le cas du fer l'effet produit, quoique moindre, s'étend plus loin que pour l'acier. Pour le fer, comme pour l'acier, le recuit au rouge-cerise fait disparaître les effets du poinçonnage.

Pour le fer donc aussi, le forage serait à préférer au poinçonnage. On obtiendrait d'ailleurs ainsi plus de précision dans la répartition des trous, ce qui donnerait un rivetage plus régulier et meilleur.

Il est bien certain qu'on affaiblit la tôle de fer par les procédés ordinaires de la chaudronnerie et que, dans le cas du façonnage des pièces compliquées, on devrait opérer par grandes surfaces. C'est ainsi qu'on est parvenu à exécuter avec des tôles ordinaires des fonds de chaudière en les portant à la température convenable et les emboutissant d'une seule pièce, tandis qu'en opérant par parties, on les manque souvent et l'on arrive rarement à trouver les tôles assez bonnes.

1060. Doit-on river les tôles d'acier avec des rivets d'acier ou au avec des rivets de fer? Ce que nous avons dit des inconvénients résultant des actions exercées par chocs immodérés dans le travail de la tôle d'acier, indique suffisamment les difficultés que présente le rivetage en acier. Cette opération produirait sur les rivets d'acier les effets signalés pour la tôle. Une machine à river qui agirait par pression hydraulique sur les rivets d'acier chauffés au rouge-cerise, éviterait probablement les inconvénients inhérents aux modes usités. On est donc conduit à ne pas les préférer pour le moment aux rivets en fer; ceux-ci offriront plus de sécurité en apportant toutefois à l'opération du rivetage et du parage les précautions qui éviteront les mauvais effets précédemment constatés.

Les rivets d'une chaudière, dans l'état normal, résistent à la traction ; de plus ils doivent offrir à la rupture transversale une résistance égale à celle des tôles qu'ils rapprochent. En réglant leur diamètre d'après cette base, on peut dire que les rivets pour une tôle d'acier déterminée seraient ceux qui conviennent à la tôle de fer à laquelle elle est substituée. La rivure à deux rangs, en quinconce, s'impose dès que les rivets deviennent trop gros.

Les grosseurs de rivets généralement admises sont pour les tôles de fer :

Épaisseur des tôles....	8mm	9mm	10mm	11mm	12mm
Diamètre des rivets....	17	19	20	21	22

1061. Jusqu'à ce jour la chaudronnerie en tôle d'acier ne s'est pas répandue en France ni en Belgique : les mécomptes éprouvés au début, les inégalités de qualité de la matière, et le prix élevé du produit que ne compensait pas la diminution d'épaisseur et par suite de poids, résultant de l'emploi de l'acier, en ont été les causes. D'un autre côté, nos tôles de fer ordinaires sont généralement meilleures que les similaires d'Angleterre et de Belgique.

Les mêmes causes ne paraissent pas s'être rencontrées en Angleterre et en Allemagne, puisqu'on trouve en ces pays un assez grand nombre de chaudières en tôle d'acier.

L'abaissement actuel du prix de ces tôles en permettrait sans doute l'emploi, mais il règne toujours à leur égard une certaine méfiance ; les produits ne sont pas constamment de qualité égale. Un autre motif d'hésitation provient de la nécessité pour les ateliers de chaudronnerie de modifier leur outillage et de former le personnel à d'autres procédés de travail.

Les chaudières en tôle d'acier, qui existent dans les usines, se sont bien comportées, et il n'y a pas de raisons pour qu'elles résistent moins bien au feu que celles de fer. Elles n'ont pas présenté les ampoules et les défauts de soudure qui se manifestent assez souvent dans les tôles de fer ordinaires, quand elles sont fortement chauffées.

1062. Le cuivre présente une résistance à la rupture qui est égale à 25 kilogrammes par millimètre carré, sa résistance est donc moindre que celle du fer ; sous l'influence de la chaleur sa résistance diminue rapidement. Des expériences faites par l'Institut de Franklin en Amérique ont fourni pour la valeur de la résistance aux différentes températures les nombres suivants :

Températures.	Diminution de résistance.
38°	0,0175
82	0,0540
132	0,0926
182	0,1513
278	0,2558
433	0,4944
700	1,0000

On voit que le cuivre perd environ 6 p. 100 de sa résistance à la température d'ébullition, 12 à 15 p. 100 à la température de l'eau des chaudières à vapeur et toute sa résistance vers 700°, quoiqu'il ne fonde que vers 1150°.

Le cuivre possède cependant des qualités précieuses, sa constitution est en général homogène, il ne présente point les ampoules ou les défauts de soudure qui se manifestent dans la tôle de fer ; il résiste mieux que le fer à beaucoup d'influences chimiques. Cependant le prix en est beaucoup plus élevé. Cette dernière raison limite nécessairement l'emploi du cuivre qui n'est guère employé dans les chaudières à vapeur que pour la construction de la boîte à feu des locomotives.

1063. La fonte de fer présente une résistance à la rupture très-différente suivant qu'elle est soumise à l'extension ou à la compression ; la charge de rupture par millimètre carré est de 12 kilogrammes dans le premier cas et de 60 kilogrammes dans le second ; la constitution de la fonte est souvent variable ; elle peut présenter des défauts qui en diminuent considérablement la résistance et que rien ne vient déceler à l'extérieur, il y a donc une absence de sécurité qui en fait rejeter l'emploi pour les chaudières à vapeur. Cependant on s'en sert pour faire des tuyaux de conduite de vapeur, dans ce cas il ne convient pas de faire travailler la fonte à plus de 1 kilogramme ou $1^{kil},50$ par millimètre carré. Dans le cas des conduites de vapeur d'un très-fort diamètre, il vaudra mieux avoir recours à la tôle.

1064. *Essais des chaudières.* — L'essai d'une chaudière est important : 1° parce qu'il peut faire connaître des fuites qui ne se seraient pas manifestées sous la pression atmosphérique ; 2° parce que le métal, quoique d'une épaisseur suffisante, peut avoir des parties plus faibles, surtout aux rivures et aux soudures ; et, quand il est en métal coulé, la fonte peut avoir des défauts ; circonstances qui feraient éclater la chaudière avec de grands dangers si la pression était due à la vapeur, au lieu que l'eau la fait rompre sans qu'il en résulte aucun accident pour les personnes qui font l'opération.

Mais ces essais ne peuvent pas donner une certitude complète que la chaudière résistera aux pressions qu'elle aura à supporter, parce qu'elles sont nécessairement de courte durée, qu'on opère à froid, et que la chaudière est exposée, dans son service, à des altérations qni peuvent notablement diminuer sa résistance.

Le décret de 1865 prescrit une épreuve préalable des chaudières à la presse hydraulique ; cette épreuve doit être maintenue pendant tout le temps nécessaire à l'examen de toutes les parties de la chaudière. Celle-ci doit être soumise à une pression effective double de celle qui ne doit pas être dépassée dans le service, toutes les fois

que cette pression est comprise entre un demi-kilogramme et 6 kilogrammes par centimètre carré ; pour les pressions supérieures la surcharge est constamment de 6 kilogrammes, pour les pressions inférieures à un demi-kilogramme la surcharge est aussi constante et égale à un demi-kilogramme.

1065. M. Kohn, ingénieur autrichien, a constaté par expérience un fait très-singulier : un générateur à vapeur de 12 mètres de longueur et 1^m, 57 de diamètre avec bouilleurs de 0^m, 549 de diamètre et une épaisseur de tôle de 0^m, 011, se dilate de 0,0719 à 153°, température correspondante à une tension de 5 atmosphères, et ne revient pas à ses dimensions primitives après le refroidissement. Les chaudières soumises trois ou quatre fois à ces alternatives de chauffage et de refroidissement ont, d'après des mesures très-précises, présenté après le refroidissement un allongement permanent de 0^m, 037 sur leur longueur primitive.

1066. Dans tout ce que nous venons de dire, nous avons supposé que les chaudières étaient chauffées entièrement, qu'elles avaient la forme ordinaire, c'est-à-dire, qu'elles étaient formées d'un cylindre avec ou sans bouilleurs ; pour ces formes de chaudières, la section de la cheminée a été donnée (586). Quant aux générateurs tubulaires qui diffèrent complétement des appareils dont nous avons parlé, on pourrait penser que les sections de cheminées et du canal de circulation de fumée devraient être très-différentes.

Les générateurs tubulaires sont toujours à foyer intérieur, et par conséquent environné d'eau de tous côtés ; dans les locomotives, sur une des faces du foyer, se trouvent un grand nombre de tubes placés dans une chaudière cylindrique ; au delà de la chaudière les tubes débouchent dans une caisse fermée, désignée sous le nom de boîte à fumée, à la partie supérieure de laquelle se trouve la cheminée ; dans les chaudières de bateaux, le foyer est généralement placé dans un gros tube entouré d'eau, et la fumée revient en avant par un grand nombre de tubes de 0^m,08 de diamètre environ, dans la boîte à fumée, au-dessus de laquelle se trouve encore placée la cheminée. Dans ces générateurs, le chemin parcouru par la fumée est petit, et si la somme des sections des tubes est égale à la section de la cheminée qui conviendrait à un générateur à bouilleur, il y a presque compensation entre l'accroissement de résistance dans les tubes et le raccourcissement du circuit joint aux diminutions de changement de direction ; et une différence même assez grande dans ces deux résistances serait peu importante, attendu que l'influence

de la grille sur le tirage est beaucoup plus forte que celle du frottement dans le canal, et que les sections que nous avons données (586) pour les chaudières à bouilleurs, produisent un assez grand excès de tirage.

Dans les chaudières tubulaires, il ne faut pas exagérer la section totale à donner aux tubes afin que la fumée passe par tous les tubes; dans le cas où la section totale est trop grande, la fumée ne passe que dans un certain nombre de tubes et le surplus ne sert qu'à alourdir la chaudière. Il faut de plus distinguer parmi les chaudières tubulaires celles qui sont à tirage naturel et celles qui sont à tirage forcé. La section de la partie tubulaire est différente dans les deux cas.

CHAPITRE II

Indicateurs de niveau.

1067. Dans toutes les chaudières à vapeur, quel que soit leur usage, il est extrêmement important de connaître, à chaque instant, la position du niveau de l'eau; car ce niveau doit être maintenu à une hauteur à peu près constante, et l'indication dont il s'agit sert à régler l'alimentation. Si le niveau s'abaissait au-dessous de la limite de chauffe, il pourrait en résulter de graves inconvénients, comme nous l'expliquerons en parlant des explosions des chaudières à vapeur. Si le niveau s'élevait beaucoup au-dessus, le réservoir de vapeur pourrait devenir trop petit, et il en résulterait des inconvénients d'un autre genre. Aussi, toutes les chaudières à vapeur sont pourvues d'appareils destinés à faire connaître à chaque instant la hauteur de l'eau dans la chaudière. Nous décrirons successivement ceux qui sont employés et les plus intéressants de ceux qui ont été proposés.

Indicateurs à robinets.

1068. La figure 195 représente le plus ancien appareil de niveau. Il est formé de deux tubes qui traversent la chaudière, et dont les extrémités intérieures correspondent aux niveaux supérieur et inférieur que l'eau ne doit pas dépasser; les autres extrémités des tubes sont munies de petits robinets. Il est évident que, lorsque le

niveau de l'eau sera compris entre les extrémités des tubes, un des robinets devra laisser sortir de la vapeur, et l'autre de l'eau. Habituellement, on emploie trois robinets piqués sur la chaudière, au lieu des deux qui sont indiqués ci-dessus ; celui du milieu correspond à peu près au niveau normal. On obtient ainsi une appréciation plus exacte de la hauteur de l'eau dans le générateur.

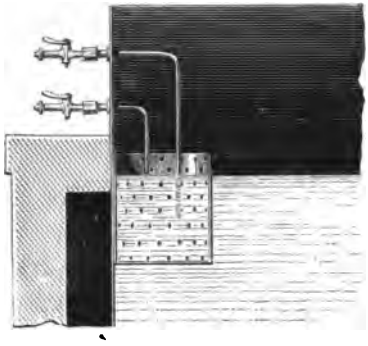


Fig. 193.

1069. Pour éviter les causes d'erreur qui peuvent résulter de l'agitation de l'eau par le fait même de l'ébullition, il serait très-utile de placer dans la partie de la chaudière où se trouvent les extrémités des tubes, une caisse en tôle, fixe, percée d'un grand nombre de petits trous : la petite étendue des orifices de communication avec l'eau de la chaudière atténuerait les oscillations, et le niveau serait sensiblement horizontal dans l'intérieur de la caisse. Cette disposition, que j'ai indiquée en 1842, se trouve reproduite par M. Akins (*Scientific American*, 8 avril 1854, p. 236).

1070. On emploie aussi pour les locomotives, dans le même but, une disposition différente : en avant de la chaudière se trouve un tube en cuivre, vertical, dont le milieu correspond au niveau normal de l'eau ; l'extrémité supérieure communique avec le réservoir de vapeur et la partie inférieure avec le bas de la chaudière ; le niveau s'établit dans le tube, et c'est sur ce dernier que se trouvent les trois petits robinets destinés à faire connaître le niveau de l'eau. Cette disposition a, comme la précédente, l'avantage d'atténuer les oscillations.

1071. La figure 195 représente un appareil fondé sur le même principe, mais qui permet de déterminer la hauteur du niveau, quand même il aurait éprouvé de grandes variations. Il se compose d'un tube droit, vertical, gradué, et mobile dans le sens de sa longueur à travers une boîte à étoupe ; ce tube est muni d'un petit robinet à sa partie supérieure. On l'abaisse progressivement en le tenant par le manche *b*, jusqu'à ce que le robinet *c* donne de l'eau ; on lit alors sur le tube la distance du niveau de l'eau à un point fixe qu'on a pris pour point de repère.

1072. La figure 194 représente une variante du même appareil,

qui permet également de déterminer la hauteur du niveau, et qui est applicable aux chaudières dont le devant est plus facilement abordable que la partie supérieure. Le tube par lequel doit se dégager l'eau ou la vapeur est horizontal et mobile autour de son axe à tra-

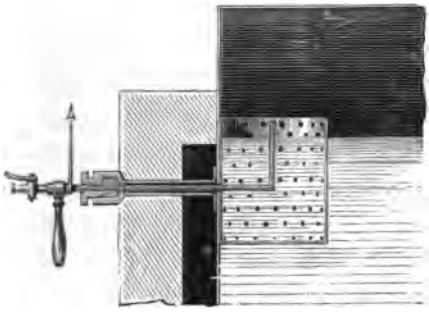


Fig. 194.

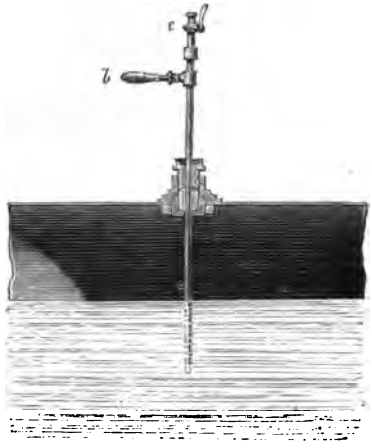


Fig. 195.

vers une boîte à étoupe. Son extrémité est courbée à angle droit. On voit, d'après cette disposition, qu'en tournant le tube, au moyen du manche en bois, jusqu'à ce qu'il sorte de l'eau par le robinet, la flèche, qui est parallèle et égale en longueur à la partie recourbée du tube, indiquera la hauteur du niveau. Cet appareil et le précédent sont sans emploi dans la pratique

1073. On peut ranger dans la même classe l'appareil (*fig.* 196 et 197) qui a été employé dans les chaudières en Amérique : *abcd* est une pièce en cuivre, filetée à son extrémité et introduite dans un trou taraudé d'une chaudière ; cette pièce est percée d'un canal central occupé par une tige d'un diamètre un peu plus faible, terminée d'un côté par une soupape qui, dans la position indiquée par la figure, ferme complétement l'orifice du tube, et de l'autre côté par une espèce de chapeau *m*, monté à vis. Le tube intérieur communique avec un petit canal latéral *e*, ouvert à l'extérieur et dirigé verticalement. Lorsqu'on veut savoir si l'eau dans la chaudière est à la hauteur du tube, on donne un petit coup

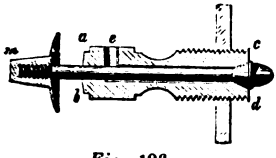


Fig. 196.

Fig. 197.

sec sur la tête de la tige ; la pression intérieure la ramène aussitôt à sa position primitive ; mais dans l'intervalle il se dégage par l'ouverture *e* de l'eau ou de la vapeur, suivant que le niveau est au-dessus ou au-dessous du tube.

Actuellement, en Europe comme en Amérique, c'est le système des trois robinets directement appliqués sur la chaudière, qui seul est employé.

Indicateurs à tube de verre.

1074. Ces appareils consistent en un tube de verre vertical qui communique par le bas avec la partie de la chaudière qui doit toujours être remplie d'eau, et par le haut avec la chambre de vapeur. Il est évident que, par cette disposition, le liquide se met dans le tube au même niveau que dans la chaudière. La figure 198 représente la disposition la plus élémentaire de ces appareils. A et B sont deux pièces de cuivre percées dans deux directions perpendiculaires ; elles sont réunies par un tube de verre CC ; et leur écartement est maintenu par une tige de fer FF ; la première de ces deux pièces communique avec le réservoir de vapeur par un tube muni d'un robinet R ; la seconde communique de la même manière avec la partie inférieure de la chaudière ; aux deux extrémités du tube de verre, le joint est rendu étanche par de la filasse et du mastic rouge (mélange de minium et d'huile de lin) ; des bouchons filetés posés dans les prolongements des tubes horizontaux permettent de les nettoyer ; les robinets R et R′ sont destinés à interrompre la communication avec l'appareil quand il y a des fuites ou que le tube est cassé ; un bouchon vissé, placé au-dessus de la pièce A, permet de remplacer le tube quand c'est nécessaire. Enfin, deux tiges de fer D et E recourbées et fixées au massif du fourneau entourent l'appareil et servent à le préserver des chocs. Dans le même but, on emploie quelquefois un grillage en fil de fer.

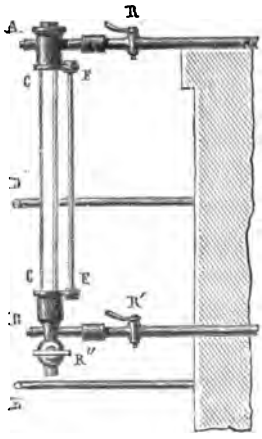


Fig. 198.

1075. L'appareil représenté figure 199 est beaucoup plus fréquemment employé ; il a la plus grande analogie avec le précédent. Les robinets *d* et *d′* servent à établir ou à intercepter la communication

avec la chaudière; les boîtes à étoupe *a*, *a'* rendent étanches les joints du tube de verre *tt*, avec les douilles qui doivent le recevoir; en enlevant les bouchons vissés *b* et *b'*, on peut nettoyer les tuyaux de communication de l'appareil avec la chaudière; et enfin le robinet *c* permet de nettoyer le tube en y faisant passer un courant d'eau.

Les dispositions indiquées (1069, 1070) sont toujours très-utiles pour diminuer les oscillations de la colonne d'eau dans le tube de verre; et elles sont indispensables quand les eaux d'alimentation sont bourbeuses ou que l'eau de la chaudière l'est devenue par les dépôts, parce qu'il se forme alors un bouillonnement tumultueux qui empêche d'apprécier le niveau de l'eau dans le tube indicateur.

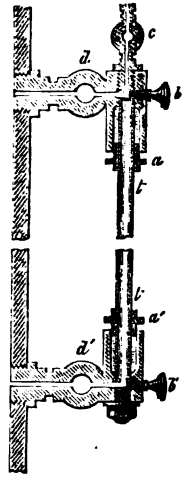


Fig. 199.

1076. M. Meunier, ingénieur en chef de l'Association normande des propriétaires d'appareils à vapeur, recommande l'emploi de l'appareil suivant : Entre le tube à niveau et la chaudière se trouve interposé un récipient en fonte muni à sa partie inférieure d'un robinet de purge et communiquant avec la chaudière par deux tubulures de $0^m,03$ de diamètre intérieur; la communication inférieure avec la chaudière est à $0^m,15$ environ au-dessus du robinet de purge; de sorte que les matières solides en suspension dans l'eau se déposent au fond du récipient et ne pénètrent pas dans le tube de verre, qui reste ainsi propre et indique toujours exactement le niveau. Cette disposition présente en outre l'avantage que l'eau de la chaudière ne peut arriver au tube de verre qu'après son passage à travers le récipient où elle subit un refroidissement; de sorte que les variations de température dans le tube sont très-peu sensibles.

M. Meunier recommande surtout de faire les garnitures métalliques du tube à niveau assez fortes pour permettre la manœuvre du presse-étoupe et du bouchon de nettoyage. Afin de fermer rapidement les robinets en cas de rupture du tube, on en relie les clefs par une bielle à poignée qu'on peut manœuvrer du haut ou du bas à volonté.

M. Meunier recommande l'emploi de tubes en verre vert dont on enlève les arêtes vives des extrémités à la meule ou en les fondant à la lampe d'émailleur; il recommande de les maintenir, jusqu'au

moment de s'en servir, dans le sable qui recouvre la chaudière ; on obtient ainsi un recuit favorable à la conservation des tubes.

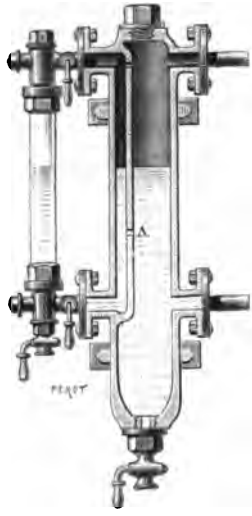


Fig. 200.

Les douilles qui reçoivent les extrémités du tube doivent être parfaitement en ligne droite ; le tube ne doit pas être trop long, pour ne pas obstruer les ouvertures des robinets ; il ne doit toucher aucune partie métallique et doit être maintenu exclusivement par la garniture en caoutchouc du presse-étoupe.

1077. M. Damourette, ingénieur à Paris, construit sous le nom de porte-tube séparateur un appareil représenté (*fig.* 200) ; il se compose d'une bouteille cylindrique verticale, avec ou sans robinets de jauge, et qui renferme une cloison verticale qui sépare l'eau de la chaudière de celle du tube ; cette cloison est percée de deux orifices, de sorte que l'eau peut passer d'un compartiment dans l'autre et se mettre de niveau ; l'un de ces compartiments forme une chambre de dépôts ; ceux-ci sont évacués par un robinet de vidange placé à la partie inférieure. A l'aide de ces dispositions le tube reste propre, ne subit que de faibles variations de température, et se conserve. Il faut bien prendre garde à ce que le tube ne fournit plus d'indications au-dessous du niveau de l'orifice supérieur A percé dans la cloison, puis que l'eau reste dans tous les cas au moins à cette hauteur dans le tube.

Fig. 201.

1078. M. Bourdon construit un niveau imaginé par M. Daniel et dont les dispositions ont pour but de maintenir le tube de verre constamment froid ; il se compose (*fig.* 201) d'une colonne en fonte C terminée à la partie inférieure par un espace annulaire dans lequel se trouve placée une surface héliçoïdale formant un conduit dans lequel se

forment les dépôts ; cette colonne communique à la partie supérieure avec le tube par un serpentin en cuivre dans lequel l'air se comprime, de sorte que la vapeur n'arrive pas jusqu'au tube et ne peut l'échauffer ; le tube de communication inférieur est muni d'un robinet à deux eaux qui permet soit d'arrêter, soit d'établir cette communication, soit enfin de purger l'appareil. L'auteur signale comme avantage résultant de ces dispositions : 1° l'absence d'impuretés dans le verre ; 2° l'absence d'oscillations dans le tube ; 3° la conservation du tube qui reste toujours froid.

1079. Il y aurait peut-être lieu d'essayer pour les tubes à niveau l'emploi du verre trempé de M. de La Bastie. La nature de ce verre et ses propriétés ne sont pas encore suffisamment étudiées pour que nous puissions en recommander l'usage d'une façon certaine ; d'ailleurs les variations fréquentes de température que subissent les tubes à niveau pourraient peut-être amener le recuit du verre trempé et le ramener à l'état de verre ordinaire. L'expérience seule pourra prononcer à cet égard.

Dans tous les cas, il serait bon, pour éviter la rupture qui peut se produire par des chocs accidentels, de protéger les tubes en les plaçant dans un encastrement, comme on le fait souvent en Angleterre, ou bien encore en les entourant d'un grillage ou d'un treillis métallique à mailles assez larges placé à une petite distance du tube.

1080. Les indicateurs à tube de verre, quels que soient les soins que l'on ait pris pour les protéger, sont sujets à se casser ou à s'encrasser ; aussi ne peut-on les considérer que comme des instruments auxiliaires d'autres appareils. L'ordonnance de 1865 exige d'ailleurs qu'une chaudière soit munie de deux indicateurs de niveau, indépendants l'un de l'autre et dont l'un doit être à tube de verre.

1081. Dans le cas des chaudières verticales qui ont une très-grande hauteur, les tubes à niveau que nous avons décrits ne peuvent point être employés utilement ; ils ne peuvent pas en effet être placés près du chauffeur. M. Planche, ancien élève de l'École centrale, a résolu la question au moyen d'un appareil qu'il a fait breveter et qui consiste en un tube de verre en U renfermant du mercure et placé au bas de la chaudière ; deux tubes métalliques sont fixés sur les extrémités du tube en U et viennent aboutir, l'un au-dessus, l'autre au-dessous du niveau moyen de l'eau de la chaudière ; le premier, étant en communication avec la vapeur, se remplit de l'eau de condensation. La variation du niveau de l'eau dans la chaudière amène dans le tube en U une variation correspondante du nivean du

mercure ; le rapport de M. Ichon (*Annales des mines*, 1870) constate que cet appareil répond aux conditions exigées par les ordonnances. Nous devons cependant faire observer que la variation observée se trouve considérablement réduite.

Indicateurs à flotteur.

1082. L'appareil le plus simple est représenté figure 202. Le flotteur est composé de deux calottes en cuivre soudées sur leurs bords ; il est surmonté d'une aiguille métallique *f* qui traverse deux guides *g* et s'élève dans une cloche de verre *e* d'un petit diamètre, mastiquée dans une douille *aa*, fixée sur la chaudière.

Lorsque les deux calottes du flotteur ont été soudées, le corps lenticulaire renfermait de l'air à la température et à la pression extérieures ; quand il sera plongé dans l'eau à des températures de 100°, 121°, 134° 144°, 152°, 159°, 165°, 171°, qui correspondent à des forces élastiques de la vapeur de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 atmosphères, la force élastique de l'air, renfermé dans le flotteur aux températures correspondantes, augmentera seulement dans les rapports de 1,36 ; 1,43 ; 1,48 ; 1,52 ; 1,55 ; 1,57 ; 1,59 ; 1,61 atmosphères ; il en résulte que la pression extérieure tendra d'autant plus à écraser la lentille que la pression de la vapeur sera plus considérable, et, par conséquent, on devra donner aux lames de métal dont elle est

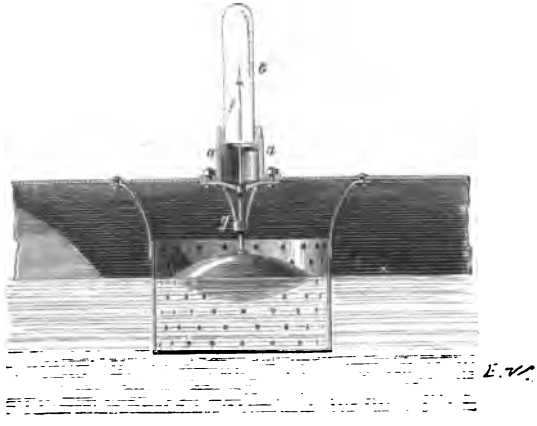


Fig. 202.

formée une très-grande épaisseur. Mais si, avant de fermer la lentille, on y introduit une certaine quantité d'eau, suffisante pour rem-

plir sa capacité de vapeur saturée à la plus haute température de l'eau dans la chaudière, les pressions intérieures correspondant aux forces élastiques de la vapeur dans la chaudière de 1 à 8 atmosphères, seront de 2,36 ; 3,43 ; 4,48 ; 5,52 ; 6,55 ; 7,57 ; 8,59 et 9,61 atmosphères ; ainsi, la pression intérieure excéderait la pression extérieure d'une quantité qui croîtrait seulement de 1,36 à 1,61 atmosphères. On voit, d'après cela, qu'il est toujours avantageux d'introduire de l'eau dans le flotteur, parce qu'il peut alors résister à la rupture avec une épaisseur de métal beaucoup plus petite que s'il ne renfermait que de l'air.

1083. La figure 205 représente un appareil disposé de la même manière, mais qui a pour but d'avertir le chauffeur quand le niveau

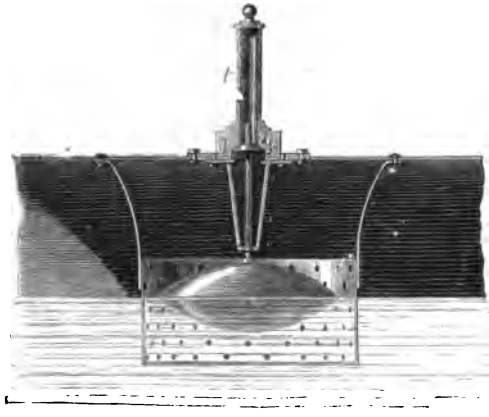


Fig. 203.

est descendu au-dessous d'une certaine limite. La tige du flotteur est fixée à une soupape *s* qui reste fermée tant que le niveau de l'eau est supérieur à la limite assignée ; mais quand il est au-dessous, la soupape *s* s'ouvre, et la vapeur, en sortant par l'orifice *t*, produit un sifflement qui prévient le chauffeur.

1084. L'appareil que nous avons indiqué d'abord (1082) a un inconvénient grave : la cloche de verre peut se casser par des variations brusques de température ou par un choc. M. Lethuillier-Pinel, de Rouen, a évité cet inconvénient d'une manière très-ingénieuse : l'espace dans lequel se meut l'indicateur (*fig.* 204) est une boîte en cuivre B fixée sur un cylindre en fonte A, et dont une des faces *o* est plane ; l'indicateur se compose d'un aimant en fer à cheval D terminé par un flotteur F, et dont les pôles glissent sur la surface

intérieure de la face plane de la boîte, quand le niveau dans la chaudière varie ; en dehors de la face plane de la boîte se trouve une aiguille aimantée libre, qui suit les mouvements de l'aimant et indique sur une échelle la hauteur de l'eau ; deux sifflets sont placés latéralement sur le cylindre de fonte, et un bouton placé sur la tige du flotteur peut, en agissant sur les extrémités de deux petits leviers coudés, ouvrir le clapet qui donne issue à la vapeur aussi bien quand le niveau est trop bas que quand il est trop élevé.

1085. M. Perrotte a imaginé un indicateur magnétique qui diffère notablement du précédent.

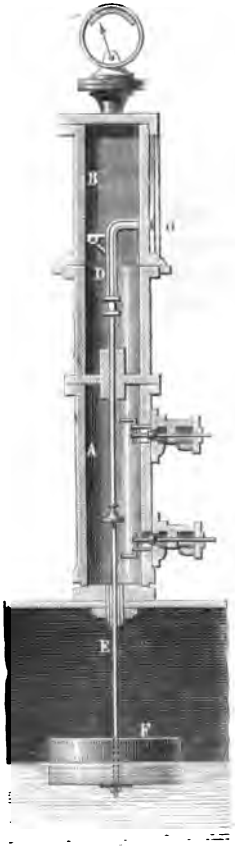


Fig. 204.

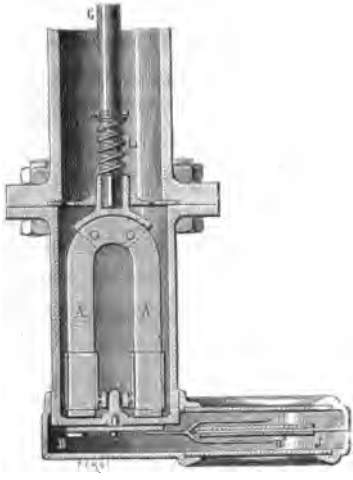


Fig. 205.

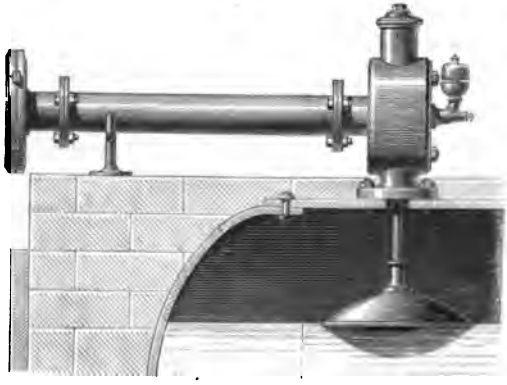


Fig. 206.

La tige du flotteur porte, à sa partie supérieure, un coulisseau

maintenu dans un guide qui dirige son action verticale ; ce coulisseau est fortement fixé à la tige par une vis de pression, dont la tête cylindrique allongée est engagée dans la rainure d'un levier claveté sur la tringle horizontale qui porte l'aimant.

En se reportant à la figure 205, on voit que, dans l'action rotative de l'aimant A, les deux pôles ou branches se meuvent à frottement doux sur le fond de la boîte en cuivre I, contre laquelle l'aimant est maintenu par le ressort L.

Les deux pôles agissent à travers la paroi de la boîte sur le barreau de fer doux B. Ce barreau de fer, suspendu à son centre par un pivot, porte l'aiguille indicatrice qui se divise en deux branches prolongées sur la face de chaque cadran. L'ensemble forme une aiguille équilibrée n'offrant aucune résistance à l'action de l'aimant, dont elle suit tous les mouvements. On comprendra, par l'examen de cette figure, que l'aiguille ne peut abandonner le cadran, auquel elle est attachée par son pivot.

Une came solitaire de l'axe qui porte l'aimant agit sur la tige du clapet qui donne issue à la vapeur pour faire résonner le sifflet ; le cadran émaillé est divisé en trois parties de teintes différentes, dont les lignes de séparation répondent aux limites de sécurité ; ces teintes différentes rendent l'observation très-facile. De plus, les indications de l'appareil continuent alors même qu'on a dépassé les limites de sécurité et permettent de juger de combien ces limites ont été dépassées. Cet instrument se présente donc dans de bonnes conditions. Il peut se faire cependant qu'à la longue l'aimant plongé dans la vapeur ne vienne à perdre son aimantation. C'est à la pratique à prononcer à cet égard.

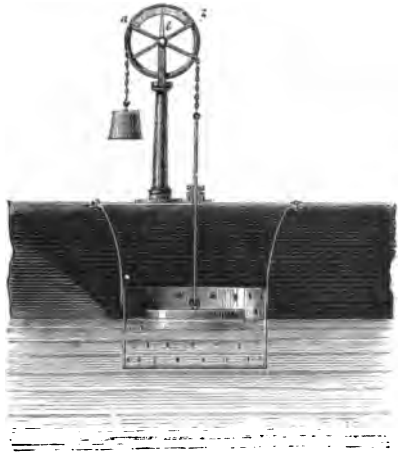


Fig. 207.

1086. On emploie le plus ordinairement des flotteurs en pierre ; la figure 207 représente la disposition la plus simple de ces appareils. Le flotteur est équilibré par un contre-poids ; un fil de cuivre d'un diamètre seulement suffisant pour le soutenir passe à travers une boîte à étoupe, et se termine par une petite chaîne enroulée

sur la gorge d'une poulie. Une aiguille *e* indique sur un cadran *ab*, fixé à la poulie, la hauteur du niveau. On pourrait évidemment remplacer la poulie par un balancier terminé par deux portions de cercle. Lorsque l'on connaît le volume et la densité du flotteur, il est facile de déterminer le poids P qu'il est nécessaire de placer à l'autre extrémité du balancier, pour que le flotteur reste en équilibre stable, plongé à moitié dans l'eau. En effet, en désignant par V le volume du flotteur, par *d* sa densité, et par *l* et *l'* les deux bras du balancier, on aura

$$(Vd - \frac{1}{2}V)l = Pl', \quad \text{d'où} \quad P = V\left(\frac{2d-1}{2}\right)\frac{l}{l'}.$$

1087. On a proposé de placer le flotteur et son contre-poids dans la chaudière, et de mettre en dehors un petit contre-poids pour tendre le fil. Cette disposition, imaginée par M. Chaussenot, aurait l'avantage de permettre l'emploi d'un fil très-fin qui offrirait peu de résistance dans son mouvement à travers la boîte à étoupe; mais elle aurait l'inconvénient de placer toutes les parties importantes de l'appareil à l'intérieur de la chaudière.

1088. Dans les figures des appareils de niveau à flotteur, nous avons indiqué, autour du flotteur, une enveloppe métallique percée de trous, afin de diminuer l'amplitude des oscillations du flotteur et de permettre d'apprécier plus facilement la hauteur du niveau moyen. Il est utile toutefois de laisser à ces enveloppes des communications assez étendues avec la chaudière, pour qu'il reste dans le vase intérieur un petit mouvement oscillatoire nécessaire pour s'opposer à l'adhérence du fil dans la boîte à étoupe; d'ailleurs on s'assure, par ces petits mouvements, que l'appareil marche librement et que la garniture du stuffing-box n'est pas trop serrée.

1089. On a proposé un grand nombre de dispositions qui font jouer un sifflet par la vapeur lorsque le niveau s'est abaissé au-dessous d'une limite déterminée. Nous avons déjà décrit plusieurs de ces appareils qui portent le nom de *sifflets d'alarme;* ils sont exigés par l'administration. La disposition suivante (*fig.* 208) est une des plus simples. Elle consiste en un flotteur F, équilibré par un contre-poids P, fixé sur la tige B, qui est mobile autour du point O. Lorsque le niveau de l'eau descend, la tige T ouvre une soupape qui fait communiquer la vapeur avec un sifflet. Celui-ci est disposé de manière qu'une lame annulaire de vapeur, sortant avec force, vient se

briser contre un biseau aigu également annulaire ; la calotte métallique, qui se termine par le biseau, sert à renforcer le son.

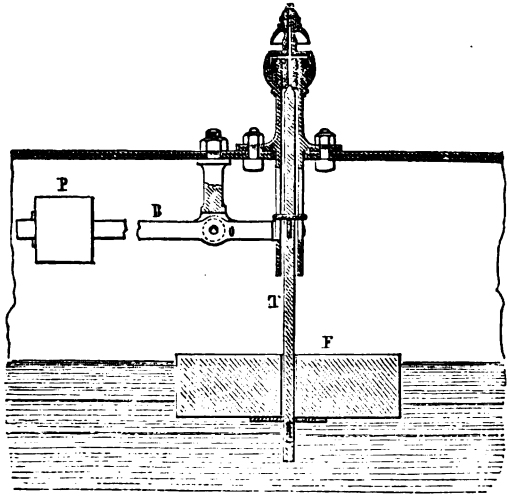


Fig. 208.

1090. M. Bourdon réunit dans un même appareil le flotteur d'alarme et le flotteur indicateur ; cette disposition est représentée *fig.* 209.

Une boîte de fonte A triangulaire communique avec la chaudière par le tube B. Un levier *h*, mobile autour de l'axe O, supporte à son extrémité le flotteur G ; en dehors de la boîte l'axe de rotation porte une tige *a* munie d'un contre-poids ; cette tige se termine par une aiguille qui marque sur un cadran la hauteur de l'eau dans la chaudière ; au même axe est fixé le levier *b* qui, lorsque l'eau s'est abaissée à une certaine hauteur dite « *trop bas* », vient presser sur le bouton C et fait ouvrir le clapet qui envoie la vapeur au sifflet D.

La figure 210 représente une coupe de l'appareil suivant la ligne 1, 2 ; elle montre la disposition adoptée pour faire le joint de l'axe qui porte une partie conique s'appliquant sur un siége conique aussi ; on peut forcer le contact des deux parties au moyen d'une vis de réglage *m* placée à l'extérieur de la boîte ; le joint, parfaitement étanche, n'a point de presse-étoupe. On peut constater le bon fonctionnement de l'appareil en déplaçant le levier *a* qui doit revenir à sa position primitive quand on l'abandonne à lui-même.

En H se trouve une ouverture sur laquelle peut se brancher le

tuyau du manomètre, en C se trouve le siége de la soupape de sûreté.

1091. On peut encore disposer d'une autre manière un appareil qui produise un grand bruit, quand le niveau de l'eau est descendu au-dessous d'un certain point. Imaginons qu'on ait placé au-dessus de la chaudière un cylindre vertical, terminé inférieurement par un tube qui descende un peu au-dessous du niveau que l'eau doit toujours dépasser, et supérieurement par un orifice conique communi-

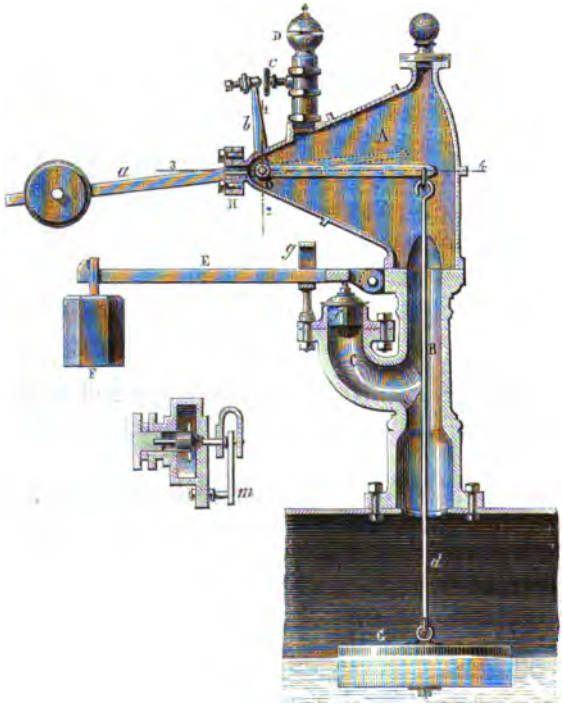


Fig. 209. *Fig.* 210.

quant avec un sifflet à vapeur. Si, dans l'intérieur du cylindre, se trouve un flotteur plus léger que l'eau, obligé de se mouvoir verticalement, et portant une tige conique, disposée pour fermer l'orifice du cylindre quand le flotteur est poussé de bas en haut, il est évident que, tant que le niveau de l'eau dans la chaudière dépassera l'extrémité du tuyau plongeur, dont nous avons parlé, le cylindre sera plein d'eau et l'orifice fermé ; mais, aussitôt que le niveau sera descendu au-dessous de cette extrémité, l'eau que renfermait le cylin-

dre s'écoulera dans la chaudière, le flotteur descendra et la vapeur s'échappera en traversant le sifflet.

1092. M. Bourdon construit un appareil qui peut se rapprocher du précédent (*fig.* 213). Il se compose d'un réservoir A muni d'un couvercle boulonné B portant un sifflet S. Une capsule en cuivre mince C est traversée en son milieu par une tige T servant de soupape au sifflet et boulonnée avec la capsule C; cette tige-soupape est pressée sur son siége par un ressort M. Un tuyau E, traversant la colonne de support P, vient présenter son ouverture inférieure à la surface *ab* du niveau de l'eau, limite de sécurité ; ce tuyau E établit la communication entre la chaudière et le réservoir A. En marche normale, le niveau de l'eau étant au-dessus de la surface *ab*, l'appareil est complétement plein d'eau, la soupape est appuyée sur son siége par le ressort, et le sifflet ne peut fonctionner. Si, par suite d'un défaut d'alimentation, le niveau s'abaisse au-dessous de la ligne *ab*, la vapeur remplit l'appareil, la capsule C n'est plus équilibrée, le poids de l'eau qu'elle contient la fait descendre en même temps que la tige, et la vapeur passe pour faire résonner le sifflet. Un tube latéral muni d'un robinet R permet de mettre le réservoir A en communication avec la vapeur et par conséquent de s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil ou encore de faire résonner le sifflet comme avertisseur.

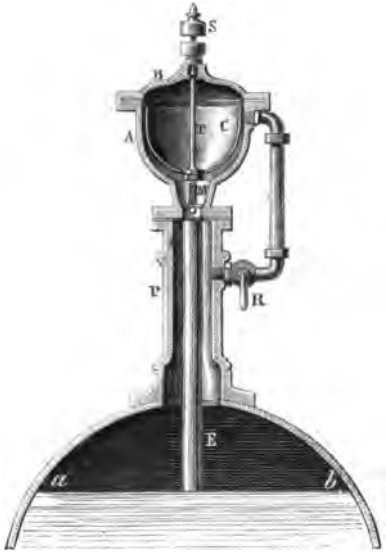


Fig. 211.

1093. Quand les chaudières sont à basse pression, on peut employer un tube vertical, terminé inférieurement au point que le niveau de l'eau ne doit pas atteindre, dont la hauteur excède celle qui correspond au maximum de pression de la vapeur et qui se termine par un sifflet ; il est évident que, lorsque le niveau de l'eau dans la chaudière sera descendu au-dessous de l'extrémité inférieure du tube, la vapeur se dégagera en passant par le sifflet.

1094. Dans toutes les chaudières à vapeur des usines, il est indispensable d'avoir à la fois un indicateur de niveau à tube et un indi-

cateur à flotteur. Pour l'indicateur à flotteur, la disposition de M. Bourdon me paraît une des meilleures.

CHAPITRE III

Manomètres et thermomètres.

1095. Les manomètres servent à indiquer à chaque instant la pression de la vapeur dans la chaudière ; ces instruments sont d'une nécessité absolue : la raison en est trop évidente pour qu'il soit nécessaire d'insister sur leur importance.

Les manomètres sont disposés de différentes manières et d'après différents principes. On peut les diviser en manomètres à air libre, manomètres à air comprimé et manomètres métalliques.

Manomètres à air libre.

1096. Les figures 212, 213, 214 représentent les types des dispositions employées. Dans la première (*fig.* 212), un tube AB vertical, ouvert par les deux bouts, plonge par la partie inférieure dans un

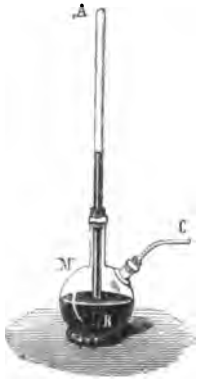


Fig. 212.

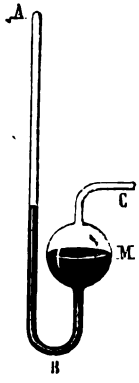


Fig. 213.

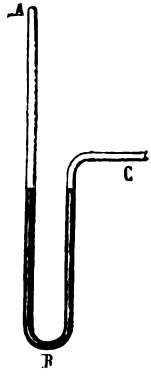


Fig. 214.

vase M en partie plein de mercure, et un tuyau C communique avec la chaudière à vapeur; le tube AB porte une échelle divisée en centimètres à partir du niveau du mercure dans le vase ; il est évident que l'excès de la pression de la vapeur sur celle de l'air sera indiquée par la hauteur de la colonne de mercure. Dans la figure 213, le

réservoir est placé latéralement, mais l'effet produit est le même. Dans la figure 214, le réservoir M est supprimé, et l'appareil se compose d'un tube ABC, recourbé de manière à former deux branches parallèles ; l'une, la plus grande, est ouverte à la partie supérieure ; l'autre est recourbée et communique avec la chaudière. La pression de la vapeur fait descendre le mercure dans la branche CB, et le fait monter dans la branche BA ; l'excès de pression se mesure par la différence des niveaux dans les deux tubes. La dernière de ces dispositions est la seule qu'on emploie pour les chaudières à vapeur. L'échelle est plus courte que dans les deux premières ; et comme, dans la pratique, il n'est jamais nécessaire d'avoir une grande précision dans l'estimation de l'excès de pression, que le plus souvent il suffit de connaître cet excès à un quart d'atmosphère, il est commode de mesurer la pression sur une échelle qui n'a pas une trop grande hauteur ; on emploie même des dispositions qui ont pour objet de diminuer encore l'étendue de la course du mercure.

1097. Quand les deux branches du siphon ont le même diamètre, l'ascension du mercure dans la branche communiquant avec l'atmosphère est égale à la descente du mercure dans l'autre branche, et, par conséquent, l'excès réel de la pression de la vapeur sur la pression atmosphérique est égal à deux fois l'accroissement de hauteur dans la première branche. Si les deux parties du tube avaient des diamètres différents, l'excès de la pression de la vapeur se déduirait facilement de l'ascension du mercure dans le tube libre et du rapport des diamètres des tubes ; en effet, désignons par h l'élévation du mercure dans la branche ouverte, par D le diamètre du tube en communication avec la chaudière, et par D_1 le diamètre du tube ouvert ; il est évident que, lorsque le mercure s'élèvera d'une hauteur h dans cette dernière branche, il descendra dans l'autre d'une hauteur telle que le volume du mercure sorti d'une branche soit égal au volume de mercure entré dans l'autre ; par conséquent, l'abaissement du mercure sera égal à $\frac{h.\,D_1^2}{D^2}$, et la différence des niveaux sera

$$h + h\frac{D_1^2}{D^2} = h\left(1 + \frac{D_1^2}{D^2}\right).$$

Il suit de là que, les divisions de l'échelle devant indiquer directement l'excès de pression de la vapeur sur la pression atmosphérique,

les divisions, indiquant des centimètres, devront avoir une longueur égale à

$$\frac{0^m,01}{1 + \frac{D_1}{D^2}}.$$

1098. Quand il s'agit d'augmenter la longueur de l'échelle pour observer de plus petites variations, on prend D plus grand que D_1, et la plus grande longueur d'une des divisions existe quand D est assez grand relativement à D_1 pour que la fraction $\frac{D_1^2}{D^2}$ puisse être négligée ; alors la colonne de mercure dans la branche libre mesure exactement l'excès de pression, comme dans les figures 208 et 209. Quand, au contraire, on veut diminuer la course du mercure dans la branche libre, afin que l'instrument, avec une petite hauteur, puisse indiquer de grandes pressions, on prend D_1 plus grand que D ; et, avec des rapports de diamètres convenables, on peut réduire autant qu'on veut l'étendue de la course pour un excès donné de pression.

1099. Cette disposition peut donner lieu à des erreurs assez notables, dues à la quantité plus ou moins considérable d'eau que renferme la branche en communication avec la chaudière. Cependant, comme cette partie du tube est en général toujours pleine d'eau, on peut estimer assez facilement la correction à faire. En supposant que le zéro de l'échelle ait été pris quand la chaudière ne fonctionnait pas et que la branche en communication avec elle était pleine d'eau, il est évident que, quand le mercure descendra dans cette branche de 1 centimètre, il sera remplacé par une colonne d'eau, et qu'alors la différence des niveaux, estimée en mercure dans le cas où les sections sont égales, sera diminuée de 1 : 13,6 ; ainsi, pour un accroissement h de hauteur dans la branche libre, l'excès réel de pression sera

$$h + h\left(1 - \frac{1}{13,6}\right) = h \cdot \left(\frac{27,2 - 1}{13,6}\right) = 1,92h.$$

Si les deux tubes avaient des diamètres différents D et D_1 (le premier étant celui du tube en communication avec la chaudière), pour un accroissement de hauteur h du mercure dans la branche libre, on aurait évidemment, pour la différence des hauteurs, estimée en mercure,

$$h + h\frac{D_1^2}{D^2} - h\frac{D_1^2}{D^2} \cdot \frac{1}{13,6} = h\left(\frac{13,6D^2 + 12,6D_1^2}{13,6D^2}\right) = h\left(1 + 0,92 \cdot \frac{D_1^2}{D^2}\right).$$

D'après cela, la cause d'erreur que j'ai signalée ne peut avoir d'influence qu'autant que le tube communiquant avec la chaudière ne resterait pas plein d'eau. Mais on peut le maintenir constamment dans cet état, en plaçant à son origine un réservoir qui se remplira d'eau par la condensation de la vapeur, et dans lequel le niveau ne pourra éprouver que des variations insensibles pour les plus grandes variations de niveau du mercure.

1100. Ces appareils peuvent servir à laisser échapper la vapeur, si la pression dans la chaudière dépasse une certaine limite. En effet, si la hauteur de la branche libre a été calculée de manière que, lorsque le mercure la remplit, la pression dans la chaudière soit arrivée à son maximum, le mercure s'écoulera au dehors si la pression augmente, et la vapeur de la chaudière s'échappera par le tube. Mais, pour que l'efficacité de l'appareil comme tube de sûreté fût complète, il faudrait que la section du tube du plus petit diamètre fût suffisante pour laisser échapper toute la vapeur qui peut se former. Pour éviter la perte de mercure dans le cas d'un accroissement de pression qui dépasserait le maximum que peut indiquer l'appareil, on place, à côté de la partie supérieure, un vase dans lequel le mercure est chassé par la vapeur. Cette disposition, dans tous les cas coûteuse, présente peu d'intérêt.

1101. On a imaginé plusieurs dispositions dans lesquelles le mercure agit sur un mécanisme qui fait mouvoir une sonnerie destinée à avertir le chauffeur, quand la pression dépasse la limite assignée. Ces appareils, qui peuvent être modifiés d'un grand nombre de manières, ne sont plus employés.

1102. Dans le cas où l'excès de la pression de la vapeur sur la pression extérieure ne dépasse pas 5 ou 6 atmosphères, ce qui est le cas le plus général, les manomètres à air libre peuvent être employés. Le tube peut être en verre ou en fer ; dans le dernier cas, le niveau du mercure est indiqué par un flotteur.

Les instructions relatives aux chaudières à vapeur renferment les dessins d'un manomètre à tube de verre et à cuvette ; les manomètres en fer et à siphon renversé me paraissent bien préférables, parce que les tubes ne peuvent pas se casser et qu'ils ont une hauteur deux fois plus petite. Pour un excès de pression de 6 atmosphères, le tube d'un manomètre à cuvette doit avoir au-dessus de la cuvette au moins $0,76.6 - 4^m,56$; tandis que dans un manomètre à siphon la hauteur de la partie qui contient le mercure, quand il n'y a pas d'excès de pression, et celle du tube dans lequel le mer-

cure s'élève, est de $2^m,28$; la longueur totale du tube recourbé est d'environ 7 mètres. En supposant que le diamètre intérieur du tube soit de $0^m,01$, le poids du mercure serait à peu près de 15 kilogrammes. Si la section du tube est constante, les excès réels de pression correspondront, comme nous l'avons vu, aux élévations du mercure dans le tube libre multipliées par 1,92 (1099).

1103. Les figures 215, 216, 217 représentent la disposition des manomètres qu'on employait autrefois pour les chaudières à basse pression, et qu'on appliquait contre une des faces de la chaudière. Ce manomètre se compose d'un canon de fusil recourbé, de manière à former deux branches parallèles : l'une d'elles communique avec la chaudière ; l'autre renferme un flotteur portant une tige dont l'extrémité parcourt une échelle divisée ; le zéro de l'échelle est sur la ligne *ab*.

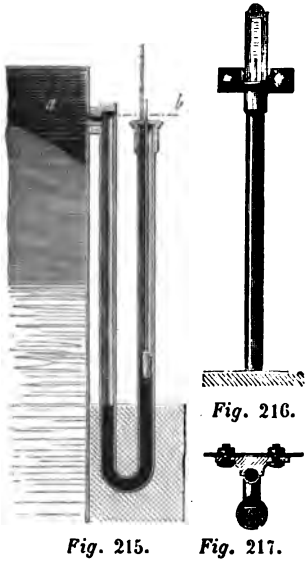


Fig. 215. *Fig.* 216. *Fig.* 217.

1104. La disposition que nous venons d'indiquer a le grand inconvénient, pour les hautes pressions, de faire parcourir au mercure une trop grande étendue, à peu près $0^m,38$ par atmosphère, et par suite les échelles ont une trop grande longueur, ce qui est très-incommode. On pourrait d'abord, en employant des tubes de fer d'un diamètre constant, réduire l'échelle parcourue par l'index dans une proportion quelconque, en faisant passer le fil du flotteur, terminé par un contre-poids, sur une poulie, et en plaçant sur son axe une autre poulie d'un plus petit diamètre, sur laquelle se trouverait enroulé un fil terminé à une extrémité par l'index, et à l'autre par un contre-poids ; le contre-poids du fil de la grande poulie ne servirait alors qu'à tendre le fil de suspension du flotteur.

Mais on préfère donner au tuyau d'ascension du mercure un diamètre plus grand que celui du reste du tube manométrique. Cette disposition, sur laquelle M. Combes a fait à la Société d'encouragement un rapport très-favorable, se trouve décrit dans le *Bulletin* de cette société. (Année 1843, p. 83.)

1105. *Manomètre à air libre et à branches multiples.* — Cet appareil, représenté dans la figure 218, est composé d'un tube de fer

replié un grand nombre de fois sur lui-même; toutes les branches sont égales et parallèles, d'un même diamètre et, formées de plusieurs parties réunies par des écrous roulants ; le tube de fer se termine à une extrémité par un tube de verre vertical *ab*, appliqué contre une échelle divisée *cd;* l'autre extrémité communique avec la chaudière. Toutes les parties inférieures des tubes sont remplies de mercure jusqu'à la ligne MN qui passe par leur milieu, et le reste est rempli d'eau. Le mercure a été introduit par des orifices percés à la partie supérieure, jusqu'à ce qu'il se soit écoulé par des orifices latéraux percés dans chaque tube à la hauteur de la ligne MN, et qu'on a fermés ensuite exactement avec des bouchons vissés. Le reste des tubes a été complétement rempli d'eau par les mêmes orifices qu'on a de même fermés avec soin. Il est évident, d'après cette disposition, que si, par la pression de la vapeur dans la chaudière, le mercure s'abaisse d'une quantité h dans le tube AB, il montera et descendra alternativement de la même quantité dans les suivants, et montera par conséquent de la même quantité h dans le tube *ab;* mais, comme dans l'appareil (*fig.* 218) il y a cinq paires de tubes communiquant par la partie inférieure, la pression de la vapeur sera égale à $\frac{5.\,2h(13,6-1)}{13,6}$. Ainsi, la variation de hauteur du mercure dans le tube de verre *ab* sera à peu près 0,1 de la pression totale estimée en mercure ; et, si les tubes avaient chacun $0^m,82$ de hauteur, l'appareil pourrait mesurer des pressions de 5 atmosphères ; et les divisions de l'échelle, correspondant à des pressions de 1,2,3,4,5 atmosphères, seraient écartées entre elles de $\frac{0,1.\,0,76.\,13,6}{13,6-1} = 0,082$. Il est évident qu'en augmentant la longueur des tubes, ou leur nombre, ou à la fois l'un et l'autre, on pourrait mesurer des pressions quelconques. En donnant $0^m,01$ de diamètre intérieur aux tubes de fer, comme leur longueur serait à peu près de 6 mètres, ils contiendraient environ 12 kilogrammes de mercure. On pourrait

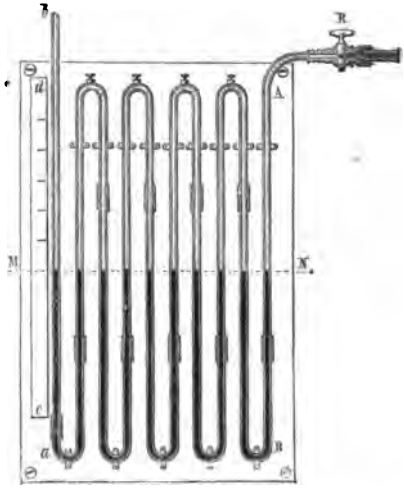


Fig. 218.

remplacer le tube de verre par un tube de fer et se servir d'un flotteur, équilibré par un contre-poids, pour indiquer la pression sur une échelle divisée. Ce manomètre est connu en principe depuis longtemps; mais il a été disposé, il y a quelques années, d'une manière très-commode par M. Richard, de Lyon. Il a été appliqué à des chaudières de bateaux et de locomotives.

1106. *Manomètre de M. Galy-Cazalat.* — Cet appareil est un manomètre à mercure et à air libre, dans lequel les variations de hauteur de la colonne de mercure ne sont, comme dans l'appareil précédent, qu'une faible fraction de celles qui représentent les variations de pression dans le manomètre ordinaire. Voici le principe sur lequel il repose : imaginons que la vapeur agisse de haut en bas sur un piston plein de $0^{mq},01$ de section, mobile sans frottement dans un cylindre ayant un diamètre un peu plus grand, et que, pour éviter le passage de la vapeur, le cylindre et le piston soient recouverts d'une lame en caoutchouc très-mince et très-flexible. Supposons que le piston, à sa partie inférieure et en dehors du cylindre, se termine par une plaque épaisse ayant $0^{mq},20$ de section, agissant sur une lame mince de caoutchouc, très-flexible, recouvrant un réservoir à mercure. Celui-ci communique par le bas avec un tube de verre qui se relève verticalement et qui est ouvert par la partie supérieure. Il est évident que, si le piston reçoit une pression quelconque, celle qui sera transmise au mercure sera vingt fois plus petite, et par conséquent le mercure s'élèvera dans le tube de $0^{m},038$ pour chaque atmosphère de pression. Cette disposition exige nécessairement que les mouvements des lames de caoutchouc soient très-petits, ce qu'il est facile d'obtenir en donnant une petite section au tube manométrique et une grande section à la cuvette. Par exemple, en supposant que ces deux sections soient dans le rapport de 1 à 1000, pour une variation de pression de 10 atmosphères, le mercure montera dans le tube de $0^{m},38$, la plaque du piston descendra de $0^{m},00038$, et le piston de $0^{m},0076$. M. Journeux a construit un certain nombre de ces appareils, principalement pour les chemins de fer. Il y a dans ces manomètres deux lames en caoutchouc employées à transmettre la preisson ; malheureusement on n'est jamais parfaitement sûr qu'elles conservent indéfiniment leur flexibilité; certains caoutchoucs deviennent avec le temps durs et cassants. L'emploi du mercure est encore un inconvénient; aussi ces manomètres sont-ils peu employés.

Manomètres à air comprimé.

1107. La figure 219 représente la disposition la plus simple d'un manomètre à air comprimé; elle consiste en un tube de verre *abcd*, formant deux branches parallèles à peu près égales, et renfermant de l'air et du mercure; ce tube est fermé à l'extrémité *a*, et communique par l'extrémité *d* avec un tuyau, garni d'un robinet R, qui se rend à la partie supérieure de la chaudière. Le mercure s'élève à peu près à la moitié de la hauteur des tubes. Quand la pression de la vapeur dépasse celle de l'atmosphère, le mercure monte dans le tube *ab*, et la pression de la vapeur se trouve mesurée par la force élastique de l'air comprimé dans le tube, qu'on déduit de la différence de hauteur des deux colonnes. En désignant par H la longueur de la partie du tube occupée par la colonne d'air à la pression atmosphérique, par *h* la hauteur dont s'élève le mercure dans la branche *ab*, sous une pression P en hauteur de mercure, on aura évidemment

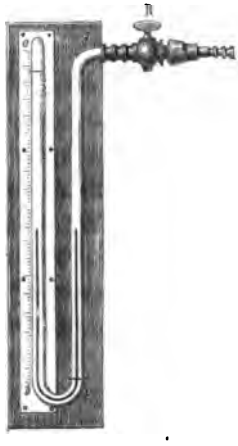


Fig. 219.

$$P = 2h + 0{,}76 \cdot \frac{H - h}{H}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

équation d'où l'on tire

$$h = \frac{H(P - 0{,}76)}{2H - 0{,}76} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

En donnant successivement à P les valeurs qui correspondent à différentes pressions en atmosphères, la dernière équation fournira les valeurs de *h* correspondantes. Ces calculs supposent que le tube a partout le même diamètre, et que sa partie supérieure est terminée par une surface plane. Pour éviter les erreurs qui peuvent résulter de ce mode de graduation, on construit un manomètre étalon avec beaucoup de soin, et on gradue les autres sur celui-là, en les soumettant, au moyen d'une pompe, à des pressions égales, croissant de quart en quart d'atmosphère.

1108. Dans l'appareil figure 220, le niveau du mercure reste sensiblement constant dans une des branches; pour cet appareil, la for-

mule (1) serait encore applicable en changeant $2h$ en h. Il est important de donner une grande longueur aux deux branches du tube qui se trouvent au-dessous du niveau constant du mercure, afin que l'air, par les variations brusques de pression, ne puisse pas en sortir.

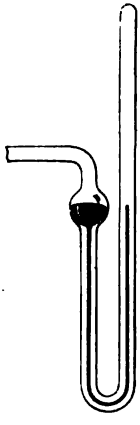


Fig. 220.

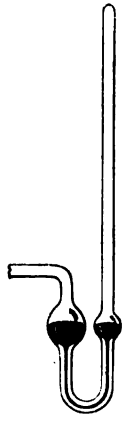


Fig. 221.

Pour éviter de donner une trop grande longueur au tube qui renferme l'air, on peut employer la disposition indiquée par la figure 221. Les deux branches du tube renferment des boules situées à la même hauteur, et qui sont à moitié pleines de mercure quand la pression exercée est égale à la pression de l'atmosphère ; mais celle du tube à air est beaucoup plus petite que l'autre. Par cette disposition, le mercure ne commence à s'élever dans le tube qu'après avoir rempli la boule, c'est-à-dire qu'autant que la pression dépasse une certaine limite ; cette boule a aussi pour objet de s'opposer à la sortie de l'air du tube par une diminution brusque de pression.

1109. A mesure que la pression augmente, la distance entre deux divisions consécutives de l'échelle diminue nécessairement, la compression de l'air se faisant suivant la loi de Mariotte. Pour obtenir des divisions à peu près égales pour des accroissements égaux de pression, on peut employer des tubes coniques intérieurement ; la graduation doit alors se faire nécessairement au moyen du manomètre étalon.

Les indications des manomètres à air comprimé devraient, à la rigueur, subir une correction relative à la température ; mais comme en supposant une différence de température de 15° entre celle à laquelle la graduation a été faite et celle de l'observation, l'erreur n'excède pas 1 : 20, on néglige cette correction ; dans aucun cas, il n'est important de connaître la pression avec une plus grande précision.

1110. M. Bunten a imaginé une manière très-commode de réunir les tubes de verre avec des tuyaux métalliques : les deux tuyaux doivent être à peu près du même diamètre et cannelés ; on les place bout à bout, recouverts de mastic rouge et enveloppés d'un tuyau de plomb d'un diamètre un peu plus grand ; alors, avec une pince, on

donne facilement au cylindre de plomb la forme des cannelures des bouts des tuyaux, et le joint devient parfaitement étanche quand le mastic a pris un peu de consistance.

1111. Les figures 222 et 223 représentent la disposition qu'on donnait assez généralement aux manomètres à air comprimé. Le mercure était renfermé dans une boîte en fonte, à la partie supérieure de laquelle le réservoir de vapeur communiquait par un tube de fer ; cette cuvette portait à la partie inférieure un tuyau de fer dans lequel plongeait le tube de verre, afin d'éviter qu'une partie de l'air du tube ne s'échappât par un décroissement brusque de pression.

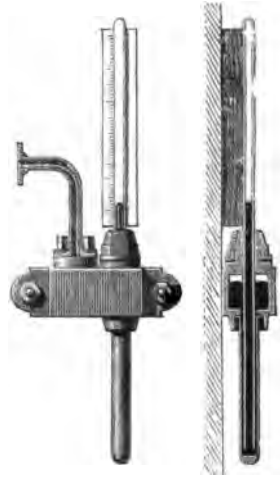


Fig. 222. *Fig.* 223.

Les manomètres à air comprimé sont maintenant complétement abandonnés, parce que le volume d'air qu'ils renferment diminue graduellement par l'oxydation du mercure. On reconnaît facilement qu'il y a absorption d'oxygène, parce que les instruments indiquent, sous la pression de l'atmosphère, une pression plus grande, et parce que le mercure acquiert en peu de temps la faculté de mouiller le verre, ce qui indique qu'il tient de l'oxyde en dissolution. On a cru obvier à cet inconvénient en introduisant une petite couche d'eau au-dessus du mercure ; mais, par ce moyen, le métal s'oxyde encore plus facilement.

1112. L'inconvénient que je viens de signaler pourrait facilement être évité en substituant à l'air de l'hydrogène, de l'azote ou de l'acide carbonique, et cette substitution ne présenterait aucune difficulté. Par exemple, pour la disposition du manomètre indiquée figure 224, on remplirait l'appareil de mercure jusqu'au point *a*, l'extrémité *b* étant ouverte ; en inclinant légèrement le tube, le mercure arriverait au point *b*. On mettrait alors le tube en communication avec une vessie renfermant le gaz qu'on voudrait introduire dans l'appareil, et on placerait l'extrémité *b* du tube dans l'ouver-

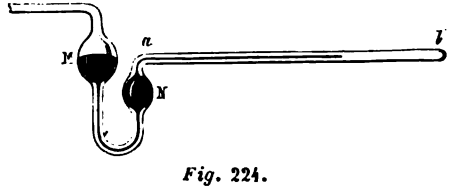


Fig. 224.

ture d'un bouchon de liége fixé dans l'ajutage du robinet de la vessie ; en pressant la vessie ou en redressant l'appareil, le gaz s'introduirait dans le tube ; on le fermerait au chalumeau, en un point où il aurait été étranglé, afin de faciliter l'opération. On obvierait ainsi complétement à l'inconvénient qui a fait abandonner les manomètres à air comprimé.

Manomètres métalliques.

1113. On emploie maintenant pour tous les générateurs à haute pression, et surtout pour les locomotives, des manomètres dont le jeu repose sur l'élasticité de certains métaux. Ces instruments ne donnent pas des mesures de la pression aussi exactes que les manomètres à air libre, et que les manomètres à gaz comprimés disposés comme nous l'avons indiqué (1112) ; mais comme ils sont d'un emploi beaucoup plus commode, et d'un prix peu élevé, l'usage en est très-répandu, et ils ont fait disparaître tous les autres systèmes de manomètres.

1114. *Manomètres de Bourdon.* — Ces manomètres sont fondés sur le principe suivant. Lorsqu'un tube creux et courbe est soumis intérieurement à une certaine pression, il tend à s'ouvrir d'autant plus que la pression est plus considérable. Les figures 225 et 226 représentent la disposition la plus simple de l'appareil ; la section du tube est une ellipse très-aplatie ; l'une des extrémités est fixe et communique avec la chaudière ; l'autre est libre et porte l'aiguille indicatrice de la pression. La graduation de l'échelle se fait par comparaison avec un manomètre à air libre. Dans quelques appareils pour augmenter la course de l'index, l'extrémité libre du tube agit sur un levier ou sur un engrenage qui fait mouvoir l'aiguille indicatrice. M. Bourdon a donné à ces instruments un grand nombre de formes différentes : les uns permettent d'apprécier de

Fig. 225.

Fig. 226.

très-faibles variations de pression et peuvent servir de baromètres, tandis que d'autres peuvent mesurer des pressions s'élevant jusqu'à 400 atmosphères.

1115. *Manomètre de M. Challeton, construit par M. Bourdon.* — Cet appareil, de même que celui dont nous venons de parler, est entièrement métallique, mais il repose sur un autre principe. Un tuyau vertical en cuivre ou en fonte de 0^m, 05 de diamètre est fermé hermétiquement à sa partie supérieure par une lame de cuivre très-mince, légèrement convexe, prise entre deux brides ; sur cette lame, et couvrant toute la surface, se trouve une spirale en acier trempé, fixée par sa circonférence à la surface latérale de la bride supérieure. Une tige fixée au centre de la spirale agit, lorsque la spirale change de forme, sur une aiguille qui se meut sur un cadran divisé. La figure 227 représente une coupe verticale de l'appareil, et la figure 228 une coupe horizontale de la spirale. La vapeur, en pressant sur la plaque de cuivre, fait passer la spirale de la forme convexe à la forme concave, et ce mouvement est indiqué par une aiguille qui se meut sur le cadran divisé en atmosphères.

Fig. 228.

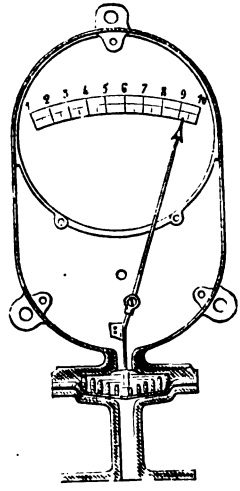


Fig. 227.

1116. *Manomètre de M. Desbordes.* — Dans ce manomètre, dont la figure 229 représente une coupe verticale, la vapeur agit sur une lame mobile de cuivre D, au-dessus de laquelle se trouve une lame ronde de caoutchouc C, dont les bords sont serrés entre deux pièces de cuivre, et qui s'appuie sur le piston P. La pression de la vapeur se transmet en *c* à une lame d'acier *ab* fixée par ses extrémités, et la flexion de cette lame met en mouvement le secteur denté S qui fait mouvoir l'aiguille indicatrice ; un ressort R tend constamment à ramener le secteur dans sa position pre-

Fig. 229.

mière. Ces manomètres se graduent comme les autres manomètres métalliques, par comparaison avec un manomètre à air libre. Ils ont, de même que ceux de M. Galy-Cazalat, l'inconvénient de renfermer une lame de caoutchouc.

1117. On a aussi employé des manomètres à ressorts. L'appareil se composait d'un cylindre alésé, renfermant un piston surmonté d'un ressort à boudin, qui s'appuyait sur le couvercle du cylindre; le piston portait une tige qui sortait à l'extérieur ; en faisant communiquer la partie inférieure du cylindre avec une chaudière à vapeur, l'extrémité de la tige indiquait sur une échelle la tension dans la chaudière. La difficulté d'éviter les fuites de vapeur a empêché ces appareils d'être adoptés.

Observations générales sur les manomètres.

1118. En résumé, pour les chaudières à vapeur à basse ou à haute pression, les manomètres à air libre, exigés par les ordonnances administratives de 1843, ont été, à cause de leur prix de revient et de la grande hauteur qu'ils exigeaient, à peu près complétement abandonnés; et les ingénieurs, chargés de faire exécuter ces ordonnances, ont été obligés de tolérer l'emploi des manomètres métalliques. Parmi ces derniers, ceux de M. Bourdon me paraissent préférables aux autres.

Il est peut-être regrettable qu'on ait abandonné les manomètres à air comprimé par suite d'inconvénients qu'il était si facile d'éviter. en remplaçant l'air par un gaz sans action sur le mercure, en faisant les tubes coniques, et en disposant l'appareil de manière à éviter la sortie du gaz par une diminution brusque de pression (1111, 1112). La fragilité de ces instruments, l'emploi du mercure qui salit le verre et qui rend le transport peu facile, sont, sans doute, les causes qui ont fait abandonner ces appareils par l'industrie ; mais leurs indications étaient toujours plus sûres que celles des manomètres métalliques, qu'un long usage altère profondément et qu'on ne peut employer avec sûreté, si l'on ne fait fréquemment des vérifications de l'exactitude de leur graduation.

Quelle que soit la pression de la vapeur et la nature des manomètres employés, les tubes de communication doivent toujours être pourvus de robinets destinés à établir ou à intercepter la communication de la chaudière avec l'instrument, afin de pouvoir le réparer ou le changer; mais le chauffeur devra avoir le plus grand soin de

ne jamais établir ou intercepter brusquement la communication; car, quelle que soit la nature du manomètre, il pourrait être dérangé et même brisé par des changements brusques de pression.

Thermomètres.

1119. Les thermomètres appliqués aux chaudières à vapeur peuvent servir à indiquer, non-seulement la température, mais encore les pressions de la vapeur saturée, puisque l'on a des tables suffisamment exactes qui donnent les pressions correspondant aux différentes températures. L'échelle pourrait porter d'un côté la température, de l'autre les pressions. Les indications du thermomètre serviraient de contrôle au manomètre et permettraient de reconnaître si la vapeur est surchauffée.

Le réservoir du thermomètre ne devrait pas être exposé librement au contact de la vapeur et de l'eau, dans l'intérieur de la chaudière, à cause de la pression qui diminuerait le volume du réservoir et qui élèverait le mercure dans le tube à une hauteur plus grande que celle qui correspond à la température. Le thermomètre devrait être plongé dans un cylindre en fer rempli d'huile ou de mercure dont les bords seraient fixés sur un orifice percé dans la partie supérieure de la chaudière.

1120. M. Collardeau a présenté à la Société d'encouragement, il y a déjà plusieurs années, un thermomètre destiné aux chaudières à vapeur et qu'il avait appelé *Thermo-manomètre*. Cet instrument était un grand thermomètre gradué dans la graisse au moyen d'un thermomètre étalon. L'échelle était tracée sur le verre et indiquait les pressions correspondant aux différentes températures. Le tube, qui avait $0^m,50$ à $0^m,60$ de hauteur, était conique intérieurement, le diamètre décroissant du réservoir au sommet. M. Collardeau employait cette forme pour donner plus d'étendue aux divisions supérieures. Le prix de cet instrument était peu élevé : cependant il n'a pas été adopté par l'industrie, sans doute à cause de sa fragilité et de la difficulté qu'on avait à lire les indications.

CHAPITRE IV

Soupapes de sûreté et plaques fusibles.

Soupapes de sûreté.

1121. Les soupapes de sûreté sont des plaques fermant une ouverture en communication avec la chaudière et pressées par des poids qui font équilibre à la pression maximum que la vapeur ne doit pas dépasser. Quand la vapeur a acquis cette tension, la soupape se soulève, et la vapeur s'échappant ne peut pas acquérir une plus grande force élastique, si l'orifice d'écoulement est suffisant.

1122. *Diamètre des soupapes.* — Les ouvertures des soupapes doivent être assez grandes pour laisser sortir toute la vapeur qui peut se former. La quantité de vapeur qui se produit ordinairement dans les chaudières est, comme nous l'avons déjà dit, de 15 à 30 kilogrammes par heure et par mètre carré de surface de chauffe; mais, comme les soupapes doivent pouvoir servir dans le cas où le feu aurait été augmenté d'une manière extraordinaire, il faut compter sur 100 kilogrammes par heure et par mètre carré de surface de chauffe, nombre qui, comme nous l'avons vu (1038), est le maximum de la quantité de vapeur qui puisse être produite.

1123. Connaissant la surface de chauffe S de la chaudière, on en déduit le poids et le volume de la vapeur qui doit pouvoir s'écouler par seconde. En désignant ce volume par V, la vitesse d'écoulement par v, la section de l'orifice par S′, on aura $V = v.\ S'$, équation qui donnera S′ quand v sera connu. Nous avons vu que les vapeurs s'écoulent comme des liquides de même densité; ainsi la valeur de S′ s'obtiendra facilement. Pour éviter les calculs, j'ai réuni dans le tableau suivant les vitesses d'écoulement de la vapeur pour un certain nombre de pressions.

VITESSE D'ÉCOULEMENT DE LA VAPEUR DANS L'AIR SOUS DIFFÉRENTES PRESSIONS.

Pressions en atmosphères.	Vitesse par seconde.	Pressions en atmosphères.	Vitesse par seconde
1 1/4	266	8	595
1 1/2	352	10	607
1 3/4	395	12	618
2	428	14	625
3	502	16	631
4	537	18	635
5	559	20	639
6	574		

1124. Supposons, par exemple, que la vapeur se produise sous la pression de 2 atmosphères, dans une chaudière ayant 10 mètres carrés de surface de chauffe ; la quantité de vapeur produite par heure sera à peu près de $20^k \times 10 = 200$ kilogrammes. Nous la supposerons, pour tenir compte des circonstances les plus exceptionnelles, de 1000 kilogrammes, ou par seconde de $0^k,277$. La densité de la vapeur à 2 atmosphères étant de 0,0011, le volume de vapeur à évacuer par seconde sera de $0,277 : 0,0011 = 250$ litres. Ainsi on aura $V = 0^{mc},250$; $v = 428$ mètres, et par conséquent $S' = 0,250 : 428 = 0,000578$. Pour donner une issue suffisante à la vapeur, il faudra donc que l'ouverture de la soupape ait à peu près 6 centimètres carrés. Cette ouverture est très-petite à cause de l'énorme vitesse avec laquelle la vapeur s'écoule.

1125. Dans les anciennes ordonnances relatives aux machines à vapeur, les diamètres D et les surfaces S′ des soupapes de sûreté des générateurs sont donnés par les formules

$$D = 2,6\sqrt{\frac{S}{n - 0,412}}\ ; \quad \text{et} \quad S' = 5,30\frac{S}{n - 0,412} \ldots\ldots (1)$$

dans lesquelles D est estimé en centimètres, S′ en centimètres carrés ; S représente la surface de chauffe de la chaudière en mètres carrés, et n le nombre d'atmosphères de la vapeur dans la chaudière, c'est-à-dire le numéro du timbre. Quoique les ordonnances de 1865 ne contiennent aucune prescription relative à la détermination du diamètre des soupapes, ces formules sont encore celles qui servent le plus ordinairement.

En admettant une pression de 6 atmosphères dans la chaudière et des surfaces de chauffe égales respectivement à :

5	10	20	30	40	50	60 mètres carrés;

les sections des soupapes de sûreté seront :

4.75	9.50	19.00	28.50	38.00	47.50	57.00^{cmq},

et leurs diamètres seront :

2.34	3.31	4.68	5.74	6.62	7.41	8.12 centimètres.

1126. Si l'ouverture d'une soupape était trop petite pour dépenser la quantité de vapeur qui se forme à une tension donnée, la force élastique de la vapeur augmenterait, mais non pas indéfiniment ;

elle atteindrait bientôt une certaine limite qu'elle ne pourrait pas dépasser. En effet, à mesure que la température de la vapeur augmente, la densité, la vitesse d'écoulement et par suite la dépense augmentent en même temps, tandis que la quantité de vapeur formée reste constante : ainsi, il arrivera nécessairement un instant où la dépense sera égale à la quantité de vapeur qui peut se former d'après l'activité du foyer et l'étendue de la surface de chauffe ; à cet instant la température de la vapeur restera évidemment constante. Dans tous les cas, la limite extrême serait celle correspondant à la dépense de 100 kilogrammes de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

1127. Ce fait a été vérifié par M. Christian. Il s'est servi pour cela d'une chaudière de fonte épaisse, fermée par un couvercle de même métal maintenu par des boulons ; elle fut placée dans un fourneau et chauffée par un feu très-violent, car la cheminée de tôle rougissait à près de $0^{m},40$ de hauteur. Le couvercle était percé de trois ouvertures : l'une recevait un thermomètre, une autre le fil d'un flotteur qui permettait de mesurer le niveau de l'eau, et la dernière était destinée à recevoir une plaque percée de différentes ouvertures par lesquelles la vapeur s'échappait. La surface de chauffe était de $0^{mq},189382$, et le volume d'eau de 10 litres. Le feu étant maintenu à la même intensité, un litre d'eau a été vaporisé en trois minutes, quelle que fût d'ailleurs l'étendue de la surface libre par laquelle la vapeur se dégageait.

Quand l'orifice était de	36	millimètres carrés,	la température était de.	105°5
—	18	—	— .	115°
—	9	—	— .	138°
Ouverture circulaire de	25	millimètres de diamètre...	.....	100°
—	12,5	—	.....	101°
—	6,25	—	.....	112°
Chaudière ouverte.....				100°

Ces expériences confirment, en outre, le fait que nous avons énoncé sur le maximum de vapeur que peut produire 1 mètre carré de surface de chauffe dans une heure ; car, la surface de chauffe étant de $0^{mq},189382$, le feu le plus violent n'a pu produire que 1 kilogramme de vapeur en trois minutes, ce qui revient à peu près à 100 kilogrammes par mètre carré et par heure.

Elles confirment aussi ce que nous avions énoncé précédemment, que la même étendue de surface de chauffe, dans les mêmes circonstances, produit le même poids de vapeur, quelle que soit d'ail-

leurs sa tension ; et que le même poids de vapeur renferme toujours sensiblement la même quantité de chaleur à toutes les tensions.

1128. *Charge des soupapes.* — La charge d'une soupape, augmentée de la pression de l'atmosphère, doit évidemment être égale à la pression que la vapeur exerce en sens contraire sur cette soupape, à la tension qui ne doit point être dépassée : or, la pression de la vapeur est égale au poids d'une colonne de mercure qui aurait pour base l'étendue de l'orifice, et pour hauteur autant de fois $0^m,76$ que la force élastique de la vapeur renferme d'atmosphères ; il est, par conséquent, très-facile de trouver dans chaque cas particulier la charge de la soupape.

1129. Par exemple, si la soupape avait un centimètre carré, et si la limite de pression était de 2 atmosphères, le poids de la soupape devrait résister seulement à 1 atmosphère, et par conséquent être égal au poids d'une colonne de mercure qui aurait 1 centimètre carré de base et $0^m,76$ de hauteur; cette colonne aurait 76 centimètres cubes, et comme la densité du mercure est de 13,596, et que 1 centimètre cube d'eau pèse 1 gramme, le poids total de cette colonne serait de $76 \times 13,596 = 1033^g,296 = 1^k,033$.

Ainsi, pour avoir la charge d'une soupape, il faudra multiplier le poids $1^k,033$ par le nombre d'atmosphères moins une de la vapeur et par le nombre de centimètres carrés de l'ouverture.

Par exemple, si la pression devait être de 3 atmosphères et demie, et si la soupape avait 4 centimètres de diamètre, c'est-à-dire $12^{cq},57$ de surface, le poids de la soupape devrait être de $1^k,033 \times 2,5 \times 12,57 = 32^k,30$.

Pour des générateurs dont les surfaces de chauffe seraient :

5 10 20 30 40 50 60 mètres carrés,

en admettant que la pression de la vapeur soit de 6 atmosphères, les surfaces des orifices seraient, comme nous l'avons vu (699), de

4.75 9.50 19.00 28.50 38.00 47.50 57.00^{cmq},

et les charges des soupapes de

24.53 49.06 98.12 147.18 196.22 245.3 294.36 kilogrammes.

1130. La vapeur présente, à sa sortie par les ouvertures des soupapes de sûreté ou par les tuyaux d'écoulement, un phénomène fort singulier : la température de la vapeur, un peu au delà de l'orifice,

est d'autant moins élevée, que la tension et la température de la vapeur dans la chaudière sont plus considérables ; ainsi, on ne peut pas tenir la main dans un jet de vapeur à 100° qui sort par un orifice percé dans une chaudière, tandis qu'un courant de vapeur à plusieurs atmosphères ne fait éprouver qu'une sensation de chaleur très-supportable. Ce phénomène, qui paraît paradoxal, est une conséquence nécessaire de la dilatation que la vapeur éprouve à sa sortie dans l'air, dilatation qui est d'autant plus grande que la tension de la vapeur dans la chaudière est plus forte, et qui est nécessairement accompagnée d'un plus grand abaissement de température. Ce phénomène avait été observé depuis longtemps par tous les physiciens qui ont employé les marmites de Papin ; il a été confirmé par M. Perkins et par Clément.

1131. *Dispositions des soupapes de sûreté.* — Les soupapes de sûreté sont, comme nous l'avons déjà dit, des plaques en métal, fermant une ouverture communiquant avec la partie supérieure de la chaudière. Pour les diriger quand elles se soulèvent et pour les forcer à retomber dans leur position primitive, on peut les guider de diverses manières. Quelquefois elles portent à la partie inférieure un cylindre creux, ouvert en bas, percé de plusieurs larges ouvertures qui permettent à la vapeur de s'écouler latéralement, et d'un diamètre un peu plus petit que celui de la tubulure dans laquelle il est engagé. Le plus souvent le guide est formé de trois nervures ayant un axe commun, dont les bords glissent contre les parois de la tubulure sur laquelle s'appuie la soupape. Enfin, elles sont quelquefois munies à la partie inférieure d'une tige d'un petit diamètre, qui passe dans un ou plusieurs anneaux fixes, qui servent de guides.

Dans tous les cas, les surfaces en contact avec les bords supérieurs de la tubulure ont toujours une petite étendue. D'après les ordonnances, la portée de la soupape sur son siége ne doit pas dépasser le trentième du diamètre, et ne doit jamais être supérieure à $0^m,002$.

Les soupapes de sûreté ne devraient jamais être faites en fonte ; le bronze doit être préféré dans tous les cas. Elles reposent généralement sur leur siége par une partie plane. On doit éviter les soupapes coniques qui sont sujettes à l'adhérence.

Il est utile de ménager au-dessus du chapeau des soupapes une partie carrée ou hexagonale, au moyen de laquelle on puisse facilement les roder sur leur siége, lorsqu'elles laissent fuir la vapeur,

par suite de l'oxydation des surfaces en contact, ou de l'interposition de matières étrangères entraînées par la vapeur.

1132. Avant de décrire les différentes formes de soupapes de sûreté, nous parlerons d'un phénomène fort singulier qui peut avoir une grande influence sur leur efficacité.

Le fait dont il est question a été observé, pour la première fois, par M. Griffith, mécanicien des forges de Fourchambault. Voici en quoi il consiste : si un gaz fortement comprimé dans un réservoir s'échappe par une ouverture pratiquée dans une large surface plane, et que l'on présente au courant une planche ou un disque métallique d'un diamètre beaucoup plus grand que celui de la veine, ce corps, repoussé d'abord par la pression de la veine de gaz, est au contraire attiré, lorsqu'en surmontant cette répulsion il a été approché à une petite distance du plan de l'orifice. Le disque ne peut alors être éloigné que par une force plus ou moins considérable.

Depuis, on a reconnu que les mêmes phénomènes ont lieu dans l'écoulement de l'eau. L'effet dont il est question provient de ce fait général dans l'écoulement de tous les fluides : lorsqu'une veine qui sort d'un tube s'épanouit dans un tuyau dont le diamètre augmente brusquement ou d'une manière continue, l'accroissement de section est toujours accompagné d'une diminution de pression contre la surface intérieure du tuyau, diminution qui peut rendre la pression intérieure plus petite que la pression extérieure. Dans l'expérience de M. Griffith, la veine d'air s'épanouissait évidemment dans un canal dont la section était la surface d'un cylindre, ayant pour hauteur la distance des deux plaques, et pour base les cercles concentriques à celui de l'orifice.

1133. Ces expériences ont d'abord fait regarder les soupapes de sûreté comme ne présentant aucune garantie contre un excès de pression. Mais, en ne donnant qu'une très-petite largeur à la surface qui est en contact avec leur siége, les soupapes de sûreté se soulèvent toujours sous des pressions peu différentes de celles qui correspondent à leurs charges. En effet, désignons par S la surface de la soupape pressée par la vapeur, par s la surface en contact avec le siége, par p la pression de l'atmosphère sur l'unité de surface, et enfin par n le nombre d'atmosphères de la vapeur. La charge P de la soupape sera égale à $p\ (n - S)$. Si nous supposons que la soupape ne touche le siége que par un très-petit nombre de points, une couche d'air très-mince couvrira presque toute la surface s; et quand la soupape se trouvera soulevée d'une quantité très-petite, en suppo-

sant que la pression de la vapeur sous le rebord de la soupape soit complétement nulle, la pression exercée sur la soupape sera $p(n-1)S + ps$; ainsi, pour la soulever complétement, la tension de la vapeur dans la chaudière devrait augmenter d'un nombre d'atmosphères représenté par $s : S$, et par conséquent d'une fraction d'atmosphères d'autant plus petite que le rapport de s à S sera plus petit. Dans les dispositions ordinaires, $s : S$ est plus petit que 0,1 ; ainsi, l'influence du phénomène dont il est question est très-faible, d'autant plus que les suppositions que nous avons faites sont les plus défavorables et ne peuvent jamais se réaliser, car la surface s touche toujours le siége sur une étendue plus ou moins considérable, et la vapeur, en s'écoulant, exerce toujours une certaine pression contre les bords de la soupape. Mais il n'en est ainsi qu'à la condition que s soit très-petit par rapport à S ; car, si le contraire avait lieu, l'accroissement de pression nécessaire pour soulever entièrement la soupape pourrait être très-considérable. Nous avons vu (1003) que cette condition doit toujours être remplie.

Les soupapes de sûreté peuvent se diviser en deux classes, celles qui sont chargées directement, et celles dans lesquelles la charge a lieu par l'intermédiaire d'un levier.

1134. *Soupapes chargées directement.* — La figure 230 représente une coupe verticale d'une soupape de sûreté à charge directe, disposée de la manière la plus simple. C est une tubulure en fonte boulonnée sur la chaudière ; G et G′, deux tiges verticales fixées sur le rebord supérieur de la tubulure ; HH, une tige horizontale percée d'un orifice en son milieu et qui relie les deux tiges G et G′ ; AA, la soupape de sûreté ; sur sa tête est fixée la tige T, autour de laquelle sont posés les poids annulaires P, P, P, ayant dans la direction d'un rayon une fente qui permet de les mettre en place sans démonter la traverse HH. La soupape est en bronze, et la partie qui s'engage dans la tubulure est cylindrique, sensiblement du même diamètre, et percée de quatre ou cinq ouvertures rectangulaires pour donner issue à la vapeur. Ordinairement on fixe sur le bord supérieur de la tubulure, et dans la fonte, un anneau de bronze qui dépasse un peu le plan supérieur de la tubulure. On rode la soupape sur son siége, en introduisant entre les deux une petite quantité d'émeri très-fin.

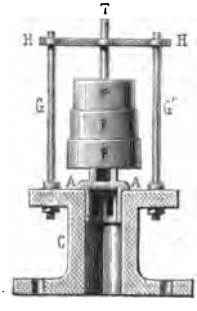


Fig. 230.

1135. On place quelquefois le poids dans l'intérieur même de la chaudière ; quand le poids a un diamètre plus grand que celui de la tubulure de la soupape, on l'introduit par le trou d'homme. Cette disposition est peu employée, parce qu'on ne peut ni vérifier la charge ni la changer.

1136. La figure 231 représente une soupape chargée directement par un poids qu'on peut soulever à l'aide d'un levier. Cette disposition peut être employée lorsque la partie supérieure de la chaudière est difficilement abordable. Elle permet de soulever la soupape de temps en temps pour empêcher l'adhérence de se produire. Dans la disposition indiquée, la vapeur s'écoule par un tuyau communiquant au dehors, afin de ne pas remplir de vapeur la chambre des chaudières, qui est généralement, dans ce cas, de dimensions très-restreintes.

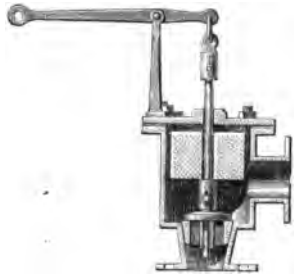


Fig. 231.

1137. On a aussi employé des ressorts de différentes formes, agissant directement sur la soupape. Ce mode de charge a un grave inconvénient : la pression augmente par la tension du ressort à mesure que la soupape s'élève ; et, pour que la section de sortie de la vapeur soit suffisante pour laisser écouler toute la vapeur qui se forme, il faut nécessairement que la pression dépasse la pression limite.

1138. *Soupapes à levier.* — La figure 232 représente une disposition de soupape à levier. La soupape S est chargée, par l'intermédiaire du levier AB, mobile autour du point A ; C est une fourchette qui sert à guider le levier dans son mouvement et l'empêche de s'élever trop haut ; il est évident que la charge de la soupape est égale au poids P multiplié par le rapport des distances horizontales de l'axe de rotation à l'axe de la soupape et au centre de gravité du poids ; mais il faut tenir compte du poids du levier lui-même. En désignant ce poids par p, par l la distance de son centre de gravité au point A (distance qu'on déterminera par tâtonnement en suspendant le levier entre deux pointes, jusqu'à ce qu'il reste en équilibre), l'effet

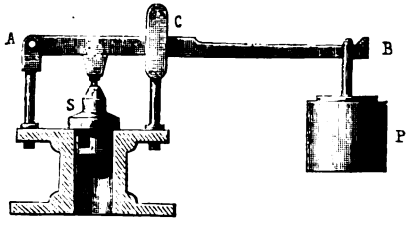


Fig. 232.

du levier sera évidemment égal à Pl divisé par la distancehorizontale de l'axe de rotation à l'axe de la soupape.

Il est toujours avantageux de placer l'axe de rotation à la hauteur du point de la soupape pressé par l'appendice du levier, afin que, lorsque la soupape se soulève, son premier mouvement soit bien vertical et que les frottements latéraux du guide soient réduits le plus possible. Dans la disposition de la figure 232, il suffirait pour cela de recourber la tige mobile de manière à faire descendre le centre de l'axe de rotation au niveau de la pointe, comme l'indique la figure 233. Il est également important que les ouvertures du cylindre qui sert de guide à la soupape se prolongent jusqu'au plan de contact, afin que la vapeur puisse se dégager par le plus petit mouvement de la soupape; cette condition est satisfaite d'elle-même, quand la soupape est guidée par des ailes ou par une tige verticale.

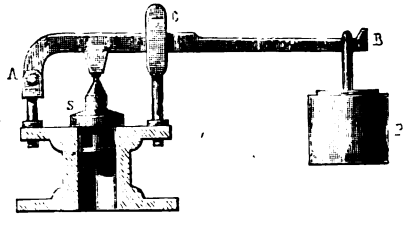


Fig. 233.

1139. M. Chaussenot a fait aux soupapes de sûreté un perfectionnement important. Cette disposition est représentée figure 234. Le centre de rotation du levier est exactement dans le plan de contact de la soupape et de son siége. La tige, fixée au levier et qui appuie à la partie inférieure de la cavité coniqne percée dans la soupape, peut être placée exactement dans la position convenable au moyen d'un jeu suffisant dans l'orifice du levier, à travers lequel elle passe, et de l'écrou qui la fixe. Cette tige agissant toujours sur le même point de la soupape, celle-ci reprend toujours exactement la même position, et on a pu ne donner qu'environ 1 millimètre de largeur aux bords inférieurs de la soupape, ainsi qu'à la pièce fixe sur laquelle elle s'appuie; il ne peut y avoir alors d'adhérence sensible entre la soupape et son siége, et la soupape se lève exactement à la pression pour laquelle elle a été calculée.

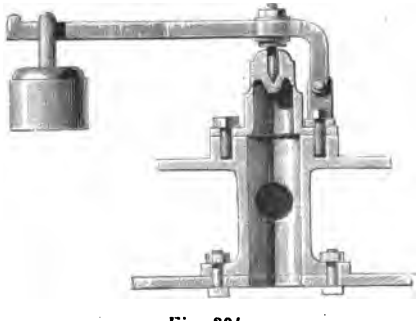


Fig. 234.

1140. La figure 235 représente une soupape destinée à faire dé-

gager la vapeur dans un tuyau, et qui est chargée par l'intermédiaire d'un levier. Cette disposition est employée, lorsque, la chambre des chaudières étant très-petite, on est obligé de conduire à l'extérieur la vapeur qui se dégage, quand il y a excès de pression.

1141. *Observations sur les dispositions des soupapes de sûreté.* — Les soupapes de sûreté, d'après leur destination, doivent être disposées de manière à donner issue à toute la vapeur qui peut se former dans la chaudière. Pour qu'il en soit ainsi, il faut évidemment que la soupape puisse se soulever d'une quantité telle que la surface extérieure du cylindre qu'elle a parcouru, en s'élevant, soit égale à la section de la tubulure déterminée par la formule donnée précédemment, c'est-à-dire, qu'elle doit pouvoir se soulever verticalement d'une quantité x, telle qu'on ait $\pi R^2 = 2\pi x R$, d'où $x = \frac{R}{2}$, R étant le rayon de la tubulure. Comme les contacts des soupapes sont sujets à s'érailler, il faut les surmonter d'un carré, ou donner à leur parement extérieur une forme qui permette de les rôder sur place.

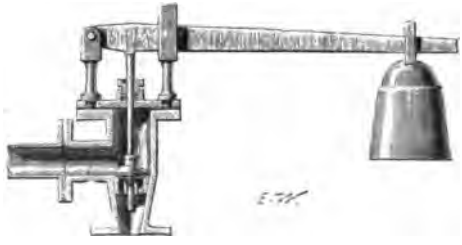


Fig. 235.

Les soupapes devraient, en outre, satisfaire à une autre condition. Il faudrait que, pendant leur soulèvement, la pression de la chaudière restant constante, la résistance à leur mouvement restât aussi constante. Cette condition est satisfaite quand la soupape est chargée directement en dessus ou en dessous, et qu'elle est guidée verticalement ; mais elle n'est remplie dans aucune des dispositions employées, quand la charge a lieu par l'intermédiaire d'un levier : dans toutes, l'effet du poids diminue avec l'inclinaison du levier. En outre, la tige, dont l'extrémité presse la soupape, change de position ; si elle est fixée au levier et si elle est engagée dans l'orifice conique, il se produit des pressions latérales qui s'opposent au mouvement de la soupape, aussitôt qu'elle s'est élevée d'une certaine quantité ; si la tige est articulée sans levier, elle s'incline de manière à agir toujours au même point ; mais il se produit encore une pression latérale, qui tend à faire incliner la soupape et peut l'empêcher de se soulever. Si, au lieu d'une tige terminée par une pointe, le levier portait une plaque mince terminée par un arc de cercle qui s'appuierait sur

la soupape, on éviterait les pressions latérales directes; mais elles se produiraient par suite du déplacement du point de pression. On a remédié, pour une grande partie, à l'inconvénient de la fixité de cette tige en employant un *pointeau*, tige terminée par deux pointes qui s'appuient sur le fond de deux alvéoles coniques pratiquées, l'une au centre de la soupape, l'autre dans le levier, on obtient ainsi une articulation très-mobile qui se prête aux deux mouvements, l'un rectiligne de la soupape, l'autre circulaire du levier.

1142. Pour satisfaire à la condition énoncée d'un effort constant, en pressant la soupape par un poids disposé à l'extrémité d'un levier, il faudrait évidemment que le levier portât deux arcs de cercle décrits du centre de rotation, le plus grand ayant le poids suspendu à une chaîne, et l'autre portant une chaîne articulée qui, par sa tension, tendrait à fermer la soupape. Cette disposition est représentée dans la figure 236. A est une boîte en fonte ou en bronze, fixée à une certaine hauteur au-dessus de la chaudière; elle communique avec celle-ci par un large tuyau B, et porte à sa partie inférieure la soupape C, soutenue par un fil qui traverse un guide D et une boîte à étoupes E; ce fil se termine par une chaîne plate qui s'enroule sur un arc de cercle placé à l'extrémité d'un levier dont l'autre extrémité supporte le poids qui doit contre-balancer la tension maximum de la vapeur.

1143. Le chargement direct de la soupape ne présente réellement aucune difficulté, et pourrait facilement s'appliquer, même pour les plus grandes chaudières, en plaçant une partie du poids dans l'intérieur et le reste en dehors ; mais il faudrait employer un levier pour soulever la soupape, quand cela deviendrait nécessaire. Cette disposition est indiquée dans la figure 237.

Mais cette disposition aussi bien que la précédente a l'inconvénient de compliquer l'installation des soupapes et de la rendre moins solide et moins stable ; aussi n'ont-elles jamais été employées.

1144. Les soupapes de sûreté pressées directement par un poids ont un grand inconvénient pour les chaudières de bateaux, parce que, le plan de l'orifice ne restant pas horizontal, l'action du poids varie avec l'inclinaison de la soupape, quelquefois dans des limites très-étendues. Les soupapes à ressorts auraient l'avantage de produire une pression indépendante de la position de la soupape; mais, comme je l'ai déjà dit, la charge augmenterait avec le soulèvement, et on retomberait dans un inconvénient aussi grave que le premier. On pourrait l'atténuer en employant des ressorts en hélice d'une

grande longueur, ou une série de ressorts disposés de manière à produire le même effet que s'ils n'en formaient qu'un seul, parce que la variation de pression, pour le mouvement que doit prendre la soupape, diminue à mesure que le mouvement du ressort a une plus grande étendue.

1145. M. Naylor construit une soupape à ressort dont la tension est réglée au moyen d'une vis d'ajustement qu'on fait monter ou descendre en agissant sur une roue à main ; un index se promène sur une échelle et marque la pression ; l'axe du levier est placé entre la soupape et le point d'insertion du ressort ; celui-ci est en contrebas de l'axe, ce qu'on obtient en recourbant le levier. Quand la soupape se lève, le levier s'abaisse du côté du ressort, et l'excès de

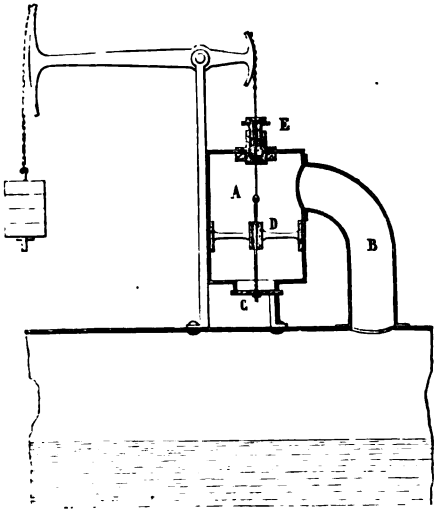


Fig. 236.

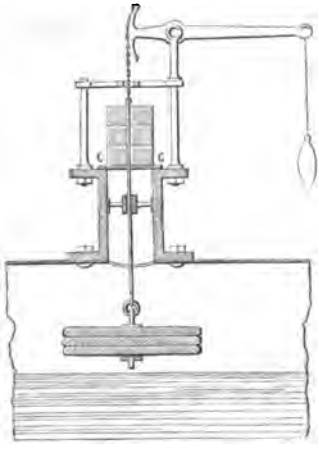


Fig. 237.

tension de celui-ci est compensé par le raccourcissement du bras de levier, le point d'insertion du ressort se rapprochant de la verticale passant par l'axe par suite de son mouvement circulaire.

1146. Les soupapes de sûreté des bateaux sont placées dans de larges tuyaux ouverts au-dessus du pont pour conduire en dehors la vapeur qui se dégage ; ces tuyaux doivent être munis à la partie inférieure d'un tube destiné à évacuer l'eau qui résulte de la condensation, et qui, sans le tube de décharge, s'accumulerait dans le tuyau et augmenterait la pression sur la soupape. En outre, à chaque soulèvement, cette eau s'écoulerait dans la chaudière, y conden-

serait la vapeur et pourrait amener une diminution brusque de pression qui, dans certains cas, pourrait produire l'écrasement de la chaudière par l'excès de pression extérieure.

1147. On emploie généralement dans les locomotives des soupapes à levier maintenues par un ressort à boudin. La figure 238 représente la disposition d'un de ces appareils. Il y a deux soupapes placées l'une à côté de l'autre sur une même boîte cylindrique en

Fig. 238.

fonte C. Le levier L est fixé à une tige A à double articulation *a* et *a'*. Le ressort à boudin est logé dans un cylindre *b* dont l'extrémité inférieure est maintenue par une pièce à charnière *c* fixée sur la partie antérieure de la boîte à feu. Afin que la soupape puisse s'ouvrir complétement, aussitôt que la tension de la vapeur est arrivée à la limite extrême, on a adopté une disposition particulière qui augmente brusquement la distance de l'extrémité du levier au ressort; cette distance est occupée par deux tiges courbées en sens contraire, articulées, qui se superposent en partie; aussitôt que la soupape commence à se lever, la distance du levier au ressort se trouve augmentée d'une quantité suffisante pour que la soupape s'ouvre complétement. Le changement dans la position des deux pièces est produit par une tige de fer extérieure au cylindre qui renferme le ressort; cette tige est maintenue verticale par deux arrêts; mais, aussitôt qu'elle s'est un peu élevée, elle échappe et, en se redressant, elle produit l'allongement dont nous avons parlé.

La tige mobile doit être ramenée par le chauffeur dans sa position normale chaque fois qu'elle l'a quittée. Cette disposition, qui tend à faire baisser brusquement la pression dans la chaudière, a été abandonnée.

1148. M. Sorel a imaginé une soupape de sûreté à sifflet, qui est fort bien disposée; l'appareil consiste en une soupape ordinaire, au-dessus de laquelle se trouve une cloche à biseau aigu sur lequel vient agir la vapeur qui s'échappe.

1149. *Soupapes de sûreté contre un excès de pression extérieure, ou reniflard.* — Lorsque, par une trop grande injection d'eau froide d'alimentation dans une chaudière, ou seulement par son refroidissement, la tension de la vapeur s'abaisse au-dessous de la pression de l'atmosphère, la chaudière peut être écrasée par l'excès de la pression extérieure. Pour éviter cet accident, qui n'est réellement à craindre que pour les chaudières à basse pression, à cause de leur forme et de la faible épaisseur du métal, on place sur les chaudières, et ordinairement sur la plaque qui ferme le trou d'homme, une soupape qui s'ouvre lorsque la pression intérieure est au-dessous de celle de l'atmosphère.

Plaques fusibles.

1150. Les plaques fusibles sont des lames plus ou moins épaisses, formées d'un alliage, dans des proportions variables, de bismuth, de plomb et d'étain, et qui est fusible à la température que l'on ne veut pas dépasser; elles ferment des ouvertures pratiquées sur la chaudière; la plaque fusible est maintenue par une plaque de fonte à jour. Quand la température de la vapeur a atteint celle de la fusion de la plaque, cette dernière entre en fusion, et laisse un libre passage à la vapeur.

1151. Les anciennes ordonnances relatives aux chaudières à vapeur exigeaient que chaque chaudière fût munie de deux plaques fusibles : l'une, la plus petite, fusible à 10° au-dessus de la température correspondant à celle du travail habituel, et l'autre à 20° au-dessus. La disposition était celle qu'indiquent les figures 239 et 240. *oo* représente la plaque fusible; AA, une plaque de fonte percée d'ouvertures, qui la maintient. Les plaques devaient être placées à la partie supérieure de la chaudière, aussi peu éloignées que possible de sa surface; et la plus petite, celle dont la fusion avait lieu à la plus basse température, devait laisser, après sa fusion, un orifice de

dégagement de la vapeur égal au moins à l'orifice de la soupape de sûreté. Plusieurs constructeurs avaient imaginé diverses dispositions. Il s'en trouvait dans lesquelles on pouvait, au moyen d'une soupape ou d'un robinet, intercepter la communication de la vapeur avec la tubulure fermée par la plaque fusible, afin que, par la fusion de la plaque, on ne fût pas obligé d'interrompre le travail et qu'on pût la remplacer. Toutes ont été abandonnées, et dans les nouvelles ordonnances il n'est plus question des plaques fusibles. On a reconnu en effet qu'avec le temps les alliages se transforment en d'autres alliages fusibles à des températures plus basses ou plus élevées, et que par suite l'emploi de ces plaques ne présente pas la moindre sécurité. En outre, pour les chaudières à haute pression, qu'on emploie presque généralement, une faible variation de température correspond à de trop grandes variations de pression ; et

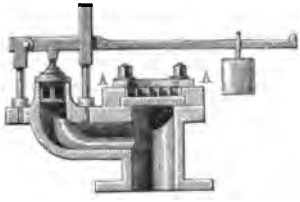


Fig. 239.

Fig. 240.

d'ailleurs les plaques fusibles ne prennent que lentement la température de la vapeur, à cause de leurs masses et du refroidissement de leur surface libre.

1152. Plusieurs constructeurs avaient imaginé aussi des appareils à plaques fusibles pour constater l'abaissement de niveau de l'eau dans les chaudières ; mais aucun n'a été adopté par l'industrie, parce que la fusibilité des alliages ne constitue pas une base d'indication certaine.

CHAPITRE V

Alimentation des chaudières à vapeur.

Appareils d'alimentation.

1153. Ces appareils sont destinés à remplacer, dans la chaudière, l'eau qui se dégage en vapeur. Il est toujours important que l'alimen-

tation ait lieu de manière que le niveau de l'eau, dans la chaudière, reste sensiblement constant; car, si le niveau baissait au delà d'une certaine limite où les gaz chaufferaient la vapeur directement, on pourrait brûler la chaudière, et on se trouverait dans des circonstances favorables aux explosions; si, au contraire, le niveau s'élevait trop, la vapeur, étant gênée dans son dégagement, pourrait entraîner beaucoup d'eau avec elle.

La hauteur de l'eau dans la chaudière doit toujours dépasser de plusieurs centimètres la limite de la surface qui est chauffée par le courant d'air brûlé, du moins quand la chaudière fonctionne, afin que dans les temps d'arrêt, pendant lesquels l'eau n'est pas mêlée de vapeur, le niveau ne descende pas au-dessous de cette limite. La différence de hauteur, d'après les ordonnances, doit être de $0^m,10$.

1154. Quand les chaudières sont à basse pression, et que l'eau d'alimentation est placée dans un réservoir suffisamment élevé, l'appareil le plus simple consisterait en un tube communiquant avec le réservoir supérieur, plongeant jusqu'au fond de la chaudière et muni d'un robinet. La hauteur de l'eau dans le réservoir, au-dessus du niveau de l'eau dans la chaudière, correspondant à une pression plus grande que celle de la vapeur, il est évident qu'en ouvrant le robinet on introduira de l'eau dans la chaudière. En réglant convenablement les intermittences, on pourra ne faire varier le niveau de l'eau qu'entre des limites aussi resserrées qu'on voudra; et même, en laissant le robinet ouvert d'une certaine quantité qu'on déterminerait par tâtonnement, le niveau de l'eau dans la chaudière pourrait rester rigoureusement constant, si la production de vapeur et le niveau de l'eau dans le réservoir ne changeaient pas. Cette disposition est employée; mais elle a le grand inconvénient d'exiger de la part du chauffeur une surveillance sur laquelle on ne peut pas toujours compter.

1155. On employait autrefois un grand nombre de dispositions différentes pour régler par un flotteur l'alimentation des chaudières à basse pression; ces appareils sont maintenant à peu près abandonnés, parce qu'on n'emploie plus guère la vapeur à basse pression. Je me bornerai à indiquer deux des dispositions les plus simples.

1156. La figure 241 représente un appareil souvent employé dans les chaudières de Watt. L'eau d'alimentation est amenée par une pompe dans la cuvette M, d'où elle tombe dans la chaudière par une soupape, dont le mouvement est réglé par un flotteur.

La figure 242 représente une disposition qui produit le même

effet ; le tuyau N communique avec un réservoir d'eau supérieur, et la boîte M laisse écouler l'eau dans la chaudière quand le niveau descend au-dessous de la limite fixée ; la tige qui porte la soupape, et sur laquelle agit le flotteur, se prolonge au dehors et indique sur

Fig. 241.

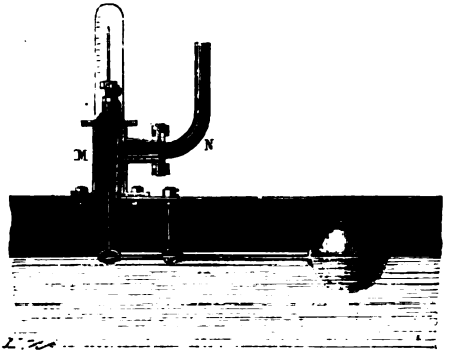


Fig. 242.

une échelle le niveau de l'eau. Je n'insisterai pas sur d'autres appareils plus ou moins analogues, parce qu'on ne les emploie plus.

1157. *Alimentation par machine à vapeur.* — Maintenant toutes les chaudières à vapeur, ou presque toutes, sont à haute pression, et

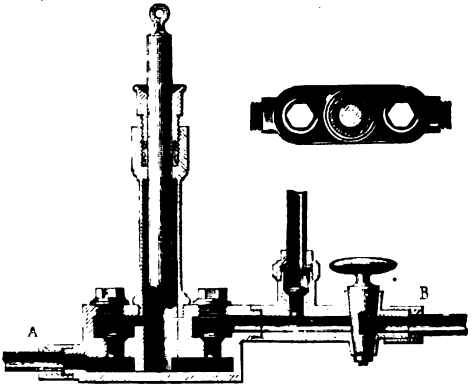


Fig. 243 et 244.

l'alimentation s'effectue par une pompe mise en mouvement par la machine elle-même, quand le générateur est appliqué à une machine, et, dans le cas contraire, par une petite machine à vapeur spéciale

qui porte le nom de *petit cheval*, et qui fonctionne avec la vapeur du générateur. Les pompes alimentaires sont quelquefois disposées comme l'indiquent les figures 243, 244. L'eau est appelée par le tuyau A, elle s'écoule dans la chaudière par le tuyau B, et dans l'intervalle se trouvent les deux soupapes d'aspiration et de refoulement, un robinet pour régler l'injection de l'eau et une soupape de décharge, qui doit être chargée d'un poids supérieur à celui qui correspond à la pression de la vapeur dans la chaudière. Il y a, du reste, un grand nombre d'autres dispositions de pompe alimentaire, basées sur les mêmes principes, et même préférables dans les détails à la disposition ci-contre.

1158. *Alimentation sans machine à vapeur.* — Lorsque les générateurs ne sont pas appliqués à des machines et qu'on veut éviter la construction d'une petite machine spéciale d'alimentation, on peut employer la disposition suivante (*fig.* 245).

L'appareil se compose d'un vase M, entièrement fermé et placé à une certaine hauteur au-dessus de la chaudière; ce vase communique par sa partie inférieure avec un tube AB, qui plonge dans le réservoir d'eau d'alimentation et qui est interrompu par une boîte G munie d'une soupape qui s'ouvre de bas en haut; le vase M communique avec le fond de la chaudière par un tube CD, qui part de sa partie inférieure et qui est également muni d'une boîte à soupape qui s'ouvre par un excès de pression dans le vase M sous la pression de la chaudière; la partie supérieure du vase M communique avec la partie supérieure de la chaudière par un tube EF muni d'un robinet I, et avec l'atmosphère par un petit tube ayant à son extrémité un robinet *p;* enfin, un tube de verre est destiné à indiquer le niveau de l'eau dans le vase M.

Fig. 245.

Pour se servir de cet appareil, on ouvre les robinets I et *p;* la vapeur s'introduit dans le vase et s'écoule par le robinet *p*, en entraînant l'air qui se trouvait dans l'intérieur; après quelques

instants, quand on suppose que la totalité de l'air a été expulsée, on ferme les robinets d'entrée et de sortie de la vapeur. Par le refroidissement du vase, la vapeur qu'il contient se condense ; la pression intérieure devient bientôt plus petite que la pression extérieure ; l'eau d'alimentation monte dans le tube AB, en soulevant la soupape, et le vase se remplit en grande partie. Si alors on ouvre le robinet I, la vapeur de la chaudière s'introduit dans le vase ; dans les premiers instants, elle se condense à la surface de l'eau ; mais, quand une couche mince d'eau a été suffisamment échauffée, la pression dans le vase M se trouve sensiblement la même que dans la chaudière, et l'eau s'écoule par le tube CD. Lorsque l'eau s'est écoulée, ce qu'on reconnaît à l'indicateur de niveau, on ferme le robinet I ; quelques instants après, le vase M se remplit de nouveau, et en ouvrant le robinet I, l'eau pénètre, comme la première fois, dans la chaudière.

1159. Il est important de remarquer que l'élévation de l'eau dans le réservoir M semble dépenser une quantité de chaleur égale à celle que renferme un volume de vapeur égal à celui de ce vase ; mais on n'en perd réellement qu'une partie très-petite, celle qui est suffisante pour produire dans la tension de la vapeur une diminution égale à la différence de hauteur de l'eau dans le vase M et dans le réservoir d'alimentation ; car la chaleur abandonnée par la vapeur condensée, à la suite de l'arrivée de l'eau, est employée à l'échauffer. Il en est évidemment de même de la chaleur abandonnée par la vapeur admise dans le réservoir pour y établir la tension de la chaudière.

Ces appareils pourraient bien remplacer complétement les pompes pour l'alimentation des chaudières à vapeur à haute et à basse pression ; mais ils sont généralement plus chers, et la manœuvre est loin d'être aussi commode et aussi sûre.

1160. *Appareils d'alimentation pour les chaudières à vapeur employées au chauffage.* — Lorsqu'une chaudière à vapeur est employée au chauffage, on l'alimente toujours avec l'eau de condensation, d'abord parce que cette eau est à une température supérieure à celle de l'atmosphère, mais surtout parce que, ayant été distillée, elle ne renferme point de sels en dissolution et qu'elle ne forme point de dépôt dans les chaudières. En supposant qu'il n'y ait pas de fuite de vapeur dans les appareils de chauffage, le retour continu de l'eau de condensation devrait maintenir un niveau constant dans la chaudière, ou son retour intermittent des variations de niveau comprises entre des limites fixes.

1161. Il semble, au premier abord, que, si les appareils de chauffage étaient placés à un niveau plus élevé que la chaudière, on pourrait toujours faire revenir directement l'eau de condensation dans le générateur. Mais il n'en est pas ainsi; du moins les retours d'eau directs ne fonctionnent pas régulièrement. En effet, de quelque manière que l'appareil de chauffage soit disposé, il se compose toujours d'un tube plus ou moins long qui communique par un bout avec la chaudière; pour que l'eau de condensation retourne au générateur, il faut, ou que le tube s'élève constamment et soit fermé à son extrémité, alors l'eau retourne à la chaudière en sens contraire du mouvement de la vapeur; ou que le tube s'élève, d'abord par le plus court chemin, au-dessus des corps qui doivent être chauffés, et qu'il descende ensuite constamment jusqu'au fond de la chaudière, alors la plus grande partie de l'eau condensée retournera à la chaudière par cette dernière partie du circuit.

Mais, dans le premier cas, la vitesse de la vapeur pourrait donner à l'eau un mouvement opposé à celui que la pente du tuyau tend à lui imprimer, et on ne pourrait être assuré de l'efficacité de l'appareil qu'autant qu'on emploierait des tuyaux d'un grand diamètre, dans lesquels la vapeur n'aurait qu'une très-petite vitesse, ce qui est rarement praticable, et occasionnerait toujours de grandes dépenses d'établissement et une grande perte de chaleur par la condensation de la vapeur dans les tuyaux de conduite.

Dans le second cas, le retour de l'eau dans la chaudière n'aurait lieu qu'autant que la pression de la vapeur au-dessus de la colonne d'eau condensée, augmentée du poids de cette colonne, l'emporterait sur la pression de la vapeur dans la chaudière, circonstance qui n'existerait que dans quelques cas particuliers; en outre, l'eau pourrait s'élever dans le tuyau de retour et produire un abaissement considérable du niveau dans la chaudière. A la vérité, on éviterait cet accident, qui serait très-fréquent, surtout au commencement du chauffage, en plaçant dans le tuyau une soupape qui ne s'ouvrirait que par une pression exercée de haut en bas; mais l'alimentation n'en deviendrait pas plus certaine, et l'eau de condensation pourrait même s'accumuler dans une partie du tube où la vapeur doit se condenser pour produire le chauffage, de manière à diminuer notablement l'effet produit.

Ainsi, on voit que les retours d'eau directs ne sont possibles que dans des cas particuliers, et qu'il faut presque toujours des appareils spéciaux pour effectuer l'alimentation des chaudières.

1162. On a employé, dans quelques usines, l'appareil d'alimentation indiqué par la figure 246. Cet appareil se compose de deux vases cylindriques A et B, ayant la forme des chaudières ordinaires et placés l'un au-dessus de l'autre, et d'un réservoir d'eau froide C plus élevé. L'eau de condensation, mêlée de vapeur, arrive par le tube *f*; la vapeur se condense dans le serpentin S, et l'eau condensée tombe dans le vase B. On fait écouler l'eau chaude dans le vase A en ouvrant les robinets *c* et *d*; et l'eau du vase A dans les chaudières, en ouvrant d'abord les robinets *b*, *b'*, et ensuite les robinets *a* et *a'*. La soupape *g* sert au retour direct de l'eau condensée à la chaudière, quand ce retour est possible, c'est-à-dire, quand la pression de la vapeur sur l'eau de condensation, augmentée de la charge de la colonne d'eau chaude, est plus grande que la pression de la vapeur dans la chaudière. Comme on le voit, cet appareil est assez compliqué.

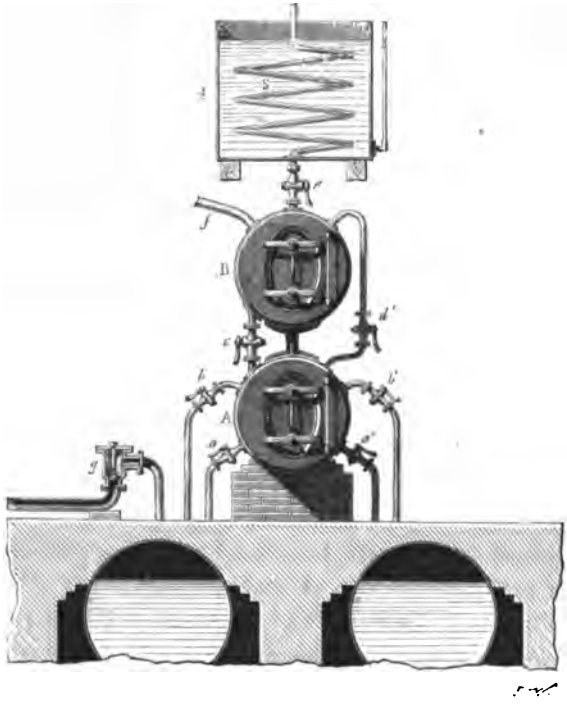


Fig. 246.

1163. On a essayé de régler l'injection de l'eau par un flotteur, et pour cela on a employé la disposition de la figure 247. La tige du

flotteur porte deux soupapes qui peuvent ouvrir en dessus ou en dessous, la boîte M, dans laquelle l'eau est envoyée de la pompe par le tuyau N ; lorsque le niveau de l'eau est assez élevé, l'eau s'écoule par le tuyau P ; quand le niveau est trop bas, elle entre dans la chaudière.

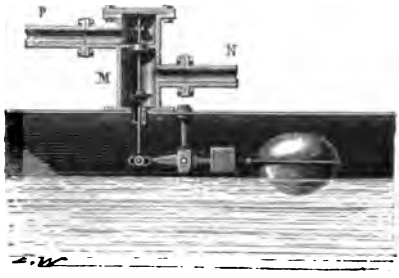


Fig. 217.

1164. Dans les chaudières dont la vapeur est employée comme force motrice, on pourrait se servir, pour l'alimentation, d'un appareil beaucoup plus simple que ceux que nous avons décrits ; il consisterait en un robinet placé sur la chaudière, dont la clef serait horizontale et renfermerait seulement une cavité ; la partie supérieure du boisseau communiquerait avec le réservoir d'alimentation, et la partie inférieure avec la chaudière. Il est évident qu'à chaque tour le robinet verserait dans la chaudière un volume d'eau égal à celui de l'encoche ; on pourrait alors déterminer, ou la vitesse de rotation, ou le volume de la cavité, de manière à fournir par une alimentation continue à la chaudière un volume d'eau égal à celui qui se réduit en vapeur ; on pourrait même disposer l'appareil de manière à faire varier la vitesse de rotation ou le volume de l'encoche, suivant le besoin. Cet appareil a été essayé sur de petites machines ; mais l'embarras d'une transmission de mouvement et l'usure de la clef du robinet en ont déterminé l'abandon.

1165. On peut encore régler automatiquement l'arrivée de l'eau dans la chaudière de façon à maintenir un niveau sensiblement constant en interrompant le jeu de la pompe, lorsque la chaudière contient assez d'eau, et en remettant la pompe en marche dès que le niveau a baissé d'une certaine quantité ; l'un des moyens les plus simples qu'on puisse employer pour arriver à ce résultat consiste à mettre un flotteur en communication par une tige ou par un fil métallique avec la tige d'un clapet fixé à la pompe ; ce clapet se soulève quand le niveau de l'eau dans la chaudière est au point le plus haut qu'il ne doit pas dépasser, et s'abaisse quand le niveau de l'eau descend. Ce clapet ferme une ouverture qui met l'intérieur du corps de pompe en communication avec l'air extérieur, quand il est soulevé, le jeu de la pompe s'arrête ; la pompe se remet en action sitôt que le clapet abaissé ferme la communication avec l'air extérieur.

1166. M. Macabiès emploie pour l'alimentation automatique l'appareil représenté figures 248 et 249; c'est un ballon R (*fig.* 248) mis alternativement en communication avec un réservoir d'eau supérieur

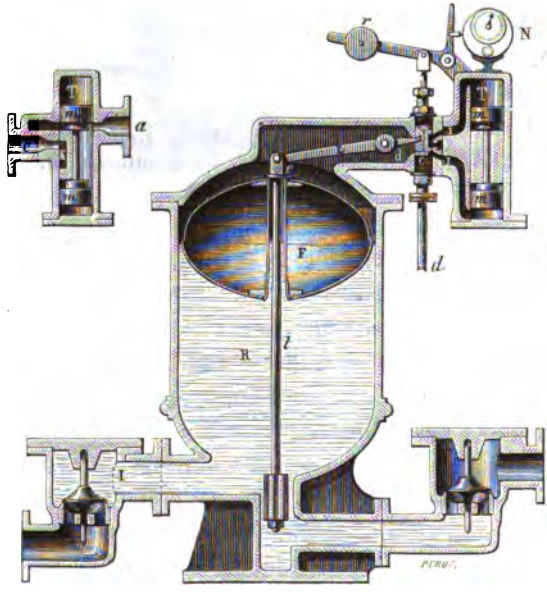


Fig. 248 et 249.

par le moyen de la soupape I et avec le tuyau d'alimentation de la chaudière au moyen de la soupape V; un flotteur F placé dans le cylindre est traversé par une tige *t* munie d'un taquet à chaque extrémité; cette tige est articulée à un levier L qui agit sur un petit tiroir G équilibré au moyen d'un levier extérieur portant un contre-poids *r*. Ce tiroir sert à faire passer la vapeur qui arrive par le tuyau *d* alternativement aux deux extrémités et à l'intérieur d'un cylindre de distribution T dans lequel se meut un double piston *m* et *m'*. La figure 249 représente la coupe verticale du cylindre de distribution par un plan perpendiculaire à celui de la figure 248; *a* est l'orifice d'arrivée de la vapeur de la chaudière; *b* est un orifice communiquant par le moyen d'un canal avec l'intérieur du ballon R; *c* est l'orifice d'échappement de la vapeur; il communique avec un tuyau qui se rend dans le réservoir d'eau supérieur, de façon à chauffer l'eau d'alimentation.

Supposons le double piston dans la position de la figure 249; la

vapeur pénètre dans le ballon R; la soupape I se ferme et la soupape V s'ouvre sous la pression de l'eau qui s'écoule dans la chaudière, la pression de la vapeur étant alors équilibrée; le flotteur F descend alors et vient reposer après l'écoulement complet sur le taquet inférieur de la tige *t*, le levier L s'abaisse sous le poids du flotteur et fait monter le tiroir G, la vapeur s'échappe de la partie supérieure du cylindre de distribution et pénètre dans la partie inférieure, le piston double *m*, *m'* est poussé vers le haut, et l'orifice d'échappement est mis en communication avec l'intérieur du ballon R par l'intermédiaire d'un petit tiroir *k* solidaire du double piston; la pression de l'eau du réservoir supérieur fait ouvrir la soupape T en même temps que celle de la vapeur ferme la soupape V; l'eau pénètre dans le ballon R, et fait monter le flotteur; quand le ballon R est plein, le flotteur agit sur le taquet *e* qui fait monter le levier L; le tiroir G s'abaisse, la vapeur renfermée dans la partie inférieure du cylindre de distribution s'échappe, et la partie supérieure se remplit de la vapeur de la chaudière, le piston double descend; il y a alors communication entre l'orifice *a* et l'orifice *b*, et la vapeur de la chaudière pénètre dans le réservoir R, la soupape I se ferme, la soupape V s'ouvre, et l'eau du réservoir R s'écoule dans la chaudière.

L'alimentation s'effectue ainsi régulièrement, aussi longtemps qu'on chauffe la chaudière; elle n'est pas absolument continue, mais les intermittences sont d'assez courte durée pour qu'on puisse la considérer comme telle.

1167. Pour établir un niveau sensiblement constant, on dispose le tuyau de prise de vapeur de façon à le faire pénétrer dans la chaudière jusqu'au niveau normal que l'on veut établir; quand l'eau arrive à l'orifice inférieur de ce tuyau, l'appareil modère sa marche dont l'allure se règle sur la dépense de la chaudière.

Si la prise de vapeur se faisait sur le haut de la chaudière, l'appareil n'établirait plus un niveau constant; l'alimentation continuerait de façon à remplir la chaudière, à moins qu'elle ne fût exécutée directement.

1168. En combinant l'appareil précédent avec un système qui permet de condenser la vapeur dans le ballon R, M. Macabiès alimente avec de l'eau puisée à un niveau inférieur.

1169. En employant un monte-jus placé en contre-bas de la chaudière et du bassin d'alimentation et en disposant convenablement le système de distribution pour faire arriver la vapeur dans le monte-

jus et le faire écouler alternativement, on parvient à alimenter avec de l'eau chaude placée à un niveau inférieur à celui de la chaudière.

1170. Enfin, on a disposé un appareil spécial pour l'alimentation des chaudières de bateau, fondé d'ailleurs sur le même principe que les précédents.

1171. En adaptant au levier à contre-poids de la figure 248 un système de transmission qui met en mouvement un petit compteur N, on peut mesurer approximativement la quantité d'eau qui a été introduite dans la chaudière pendant un temps donné.

1172. M. Macabiès signale, comme application possible du même appareil, l'emploi qu'on en peut faire comme monte-jus automatique ou pompe élévatoire, en mettant la soupape de refoulement en communication avec le réservoir que l'on veut remplir; la colonne de liquide qu'on pourra ainsi soulever sera celle qui mesure la pression effectuée dans la chaudière.

1173. Quand plusieurs chaudières devant avoir même niveau

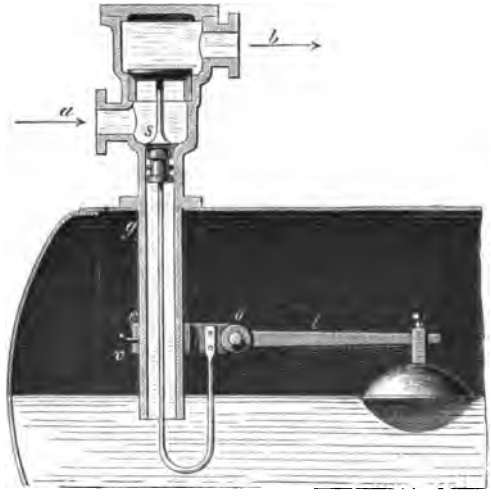


Fig. 250.

d'eau ou des niveaux différents doivent être alimentées par le même appareil, M. Macabiès garnit chacune d'elles d'un régulateur dit à soupape équilibrée; cet appareil est représenté figure 250 : il se compose d'un boîte à soupape munie de deux tubulures, l'une *a* reçoit l'eau d'alimentation, l'autre *b* est mise en communication avec

la partie inférieure de la chaudière ; de plus la boîte à soupape se termine par un tube vertical qui s'adapte à la chaudière.

Une soupape *s* à double siége est manœuvrée par un flotteur *f*, qui agit par l'intermédiaire d'un levier et d'une tige recourbée *t*. La soupape se termine inférieurement par un petit piston *p*, garni d'une bague en caoutchouc qui forme le joint, la soupape est maintenue fermée par la pression de la vapeur, la partie inférieure ayant une surface moindre que la partie supérieure. Lorsque le niveau vient à baisser dans la chaudière, l'action du flotteur fait soulever la soupape, et l'eau d'alimentation peut passer de *a* en *b* pour se rendre à la chaudière.

1174. Bien d'autres appareils ont été imaginés pour alimenter les chaudières à vapeur d'une façon continue ou automatique, et y maintenir un niveau constant; quelque ingénieux et bien construits que soient ces appareils, quelque régulier qu'en soit le jeu et quelque assuré qu'il paraisse, nous hésiterons toujours à en recommander l'emploi. Ils doivent, en vertu de la régularité même de leur fonctionnement, suspendre l'attention du chauffeur, placé ainsi dans un état de sécurité qui peut devenir trompeuse, tandis que, réduit aux moyens ordinaires d'alimentation, qu'il doit mettre lui-même en marche ou arrêter, le chauffeur se trouve plus engagé à une surveillance régulière qui fait partie intégrante de son travail. Dans tous les cas, quand on se sert d'appareils automatiques d'alimentation, l'emploi de sifflets d'alarme fonctionnant aux limites convenables de niveau sera rigoureusement nécessaire.

1175. *Alimentation par l'action directe de la vapeur de la chaudière.* — C'est à M. H. Giffard qu'on doit l'invention d'un appareil auquel il a donné le nom d'injecteur et qui permet de forcer l'introduction de l'eau d'alimentation dans la chaudière au moyen d'un jet de vapeur pris sur cette chaudière elle-même ; cette invention a valu à son auteur le grand prix de mécanique de l'Institut de France. Le principe de cet appareil consiste à faire arriver un jet de vapeur dans une capacité remplie d'eau et terminée par un ajutage conique d'écoulement ; la vapeur du jet se condense dans l'eau, lui communique la force vive dont elle est animée elle-même, et cette eau acquiert une vitesse qui permet à l'eau sortant de l'ajutage de forcer son entrée dans un tuyau qui conduit à la chaudière.

Ce qui se passe dans l'injecteur eût été complétement inexplicable avant l'introduction en physique de la théorie mécanique de la chaleur. En s'appuyant sur cette théorie, les faits s'expliquent

au contraire de la façon la plus rigoureuse, comme nous allons le voir.

Appelons

M le poids de vapeur qui s'écoule par seconde,

m le poids d'eau entraînée dans le même temps,

$C = 1,0224$ la capacité calorifique de l'eau,

$A = \frac{1}{424}$ l'équivalent calorifique du travail,

p_1, t_1, v_1 la pression, la température et le volume spécifique de la vapeur dans la chaudière,

p_0 la pression atmosphérique,

t_0 la température initiale de l'eau entraînée,

t_2 la température du mélange d'eau et de vapeur à la sortie de la capacité où se fait le mélange,

v le volume spécifique de l'eau, supposé constant,

t_3, p_2 la température et la pression dans le tuyau qui mène le mélange à la chaudière,

r_1 la chaleur latente de vaporisation de l'eau à la température t_1.

Considérons l'écoulement du mélange à l'orifice de la capacité de mélange, et représentons par u la vitesse du mélange, en supposant nulle la vitesse initiale de la vapeur dans la chaudière et celle de l'eau dans la bâche ou le réservoir d'où elle est amenée ; l'accroissement de force vive de la masse qui s'écoule en une seconde sera :

$$(M + m)\frac{u^2}{2g}.$$

Cet accroissement de force vive doit être égale à la somme des travaux extérieurs qui se compose :

1° Du travail dû à la condensation de la vapeur, lequel comprend d'abord : le travail dû à l'abandon de la chaleur latente, soit $\frac{Mr_1}{A}$; mais par suite de la diminution de volume résultant de la condensation, il s'accomplit un travail négatif représenté par $-Mp_1(v_1 - v)$; il faut ensuite tenir compte de l'abaissement de température qui produit un travail égal à $\frac{MC}{A}(t_1 - t_2)$; de sorte que le travail total dû à la condensation de la vapeur est exprimé par :

$$\frac{M}{A}C(t_1 - t_2) + \frac{Mr_1}{A} - Mp_1(v_1 - v);$$

2° Du travail dû aux pressions et qui est représenté par $M(p_1v_1 - p_0v)$ pour la vapeur ; pour l'eau, ce travail peut être considéré comme nul car la pression est la même dans la bâche et à l'orifice, et le volume spécifique de l'eau peut être considéré comme constant.

3° Du travail négatif dû à l'échauffement de l'eau et représenté par $\frac{m}{A}C(t_0 - t_2)$;

4° Du travail dû à la pesanteur et qui s'exerce sur l'eau; si l'on suppose que le niveau du réservoir est à une hauteur h au-dessus de l'injecteur, ce travail sera représenté par $m\,h$. L'équation du travail sera donc :

$$(1)\quad \frac{(M+m)u^2}{2g} = \frac{MC}{A}(t_1 - t_2) + \frac{Mr_1}{A} - Mp_1(v_1 - v) + M(p_1v_1 - p_0v) + \frac{mC}{A}(t_0 - t_2) + mh.$$

Si l'on considère l'écoulement dans le tuyau qui mène à la chaudière, en supposant que la vitesse du mélange soit complétement anéantie à l'arrivée dans la chaudière, l'accroissement de force vive sera $-\frac{(M+m)\,u2}{2g}$.

Le travail des pressions sera représenté par $(M+m)\,(p_0 - p_2)\,v$, et celui qui est dû à la variation de température sera :

$$\frac{M+m}{A}\,.\,C(t_2 - t_3),$$

L'équation du travail sera :

$$(2)\quad -\frac{(M+m)}{2g}\,.\,u^2 = (M+m)\,(p_0 - p_2)v + \frac{M+m}{A}\,C(t_2 - t_3).$$

Si on ajoute les deux équations, en remarquant qu'on peut supposer $p_1 = p_2$, il viendra,

$$\frac{MC}{A}(t_1 - t_3) + \frac{Mr_1}{A} = \frac{mC}{A}(t_3 - t_0) + m(p_1 - p_0)v - mh$$

et en négligeant le terme $m\,(p_1 - p_0)\,v$, qui est très-petit, on obtient :

$$(3)\quad m = \frac{C_0(t_1 - t_3) + r_1}{C(t_3 - t_0) - h}\,M,$$

formule qui donne la quantité d'eau entraînée par un poids M de vapeur.

Si la bâche d'alimentation était au-dessous de l'injecteur, le signe de h devrait changer.

Si l'on se donne la température à laquelle l'eau doit être introduite par seconde dans la chaudière, l'équation (3) fournira la quantité de vapeur qu'il faut dépenser pour obtenir ce résultat.

L'équation (2) donne une valeur très-approchée de la vitesse en y faisant $t_2 = t_3$. Ce qui donne :

$$\frac{u^2}{2g} = (p_1 - p_0)v;$$

Or, les volumes étant supposés exprimés en mètres cubes et les poids en kilogrammes, v sera sensiblement égal à 0,001, et on aura :

$$u = \sqrt{0{,}001 \,.\, 2 \,.\, g(p_1 - p_0)},$$

formule dans laquelle p_1 et p_0 sont exprimés en kilogrammes par mètre carré.

La valeur de u étant déterminée, on pourra calculer la section qu'il convient de donner à l'orifice d'écoulement, pour obtenir un débit dans un temps déterminé, au moyen de la formule :

$$Q = \varphi S u$$

qui fournit le débit en une seconde pour un orifice de section S. φ étant le coefficient de contraction qui convient à la forme de l'ajutage.

1176. L'injecteur de M. Giffard, tel que le construit M. H. Flaud, est représenté figure 251 ; il se compose d'un corps en fonte formé

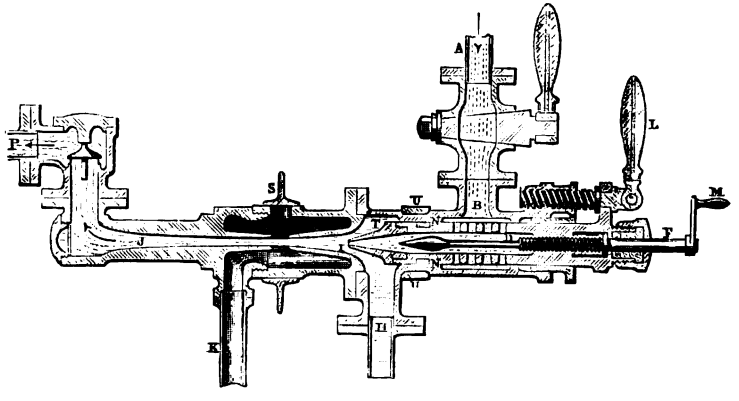


Fig. 251.

de diverses parties cylindriques réunies au moyen de parties filetées, ou de brides ; en AB se trouve le tuyau qui amène la vapeur ; cette vapeur pénètre par une série de trous dans le tube CD, ce tube CD se termine par un ajutage T par lequel s'écoule la vapeur ; il est relié au corps de l'injecteur par une vis à long pas que peut faire

tourner le levier L; en N se voit une garniture en ganse de coton suiffée qui sert à faire le joint; dans l'intérieur du tube CD pénètre une tige terminée par une portion conique E; cette tige peut avancer ou reculer au moyen d'un pas de vis, lorsqu'on le fait tourner par l'intermédiaire de la manivelle M; l'extrémité conique E, en pénétrant plus ou moins dans l'ajutage T, règle la sortie de la vapeur; I est un ajutage venu à la fonte dans le corps de l'instrument et dans lequel se fait le mélange de l'eau aspirée par le tube H avec la vapeur sortant de l'ajutage T. On règle la quantité d'eau aspirée en faisant avancer ou reculer le tube CD qui ouvre ou ferme la chambre I; en V se trouve une chambre traversée par le jet liquide et qui communique avec un tuyau de trop plein K; un anneau S percé de trous et muni d'oreilles sert en tournant à boucher ou à déboucher des orifices pratiqués au pourtour de la chambre V et servant à observer la marche du jet; celui-ci pénètre dans un ajutage divergent J présentant un orifice évasé pour faciliter l'entrée du jet; en O se trouve une soupape de retenue fermant le tuyau P qui communique avec la chaudière lorsque l'appareil ne fonctionne pas.

Pour mettre l'appareil en marche, on commence par ouvrir le robinet AB, et on agit sur la manivelle M pour ouvrir légèrement l'orifice de l'ajutage T; une petite quantité de vapeur est lancée dans l'espace I et par suite de sa vitesse entraîne l'air par un jeu de trompe en faisant le vide dans le tuyau H; l'eau monte du réservoir d'alimentation et arrive en I; aussitôt que cet espace est plein d'eau, ce qu'on reconnaît à ce que cette eau sort par le trop plein, on agit vivement sur la manivelle M à laquelle on fait faire plusieurs tours de façon à amener la quantité de vapeur suffisante; l'eau entre alors dans la chaudière, ce qu'on reconnaît à ce qu'il ne sort point de vapeur par le trop plein; la quantité d'eau se règle, comme nous l'avons dit, au moyen de la manivelle L; on reconnaît que l'appareil présente une marche bien régulière à un sifflement spécial que produit la veine en le traversant.

On peut alimenter au moyen de l'injecteur pour toutes les pressions depuis $^1/_5$ d'atmosphère (pression effective). L'élévation de température subie par l'eau dans l'injecteur varie de 12 à 50° suivant la pression dans la chaudière. La température de l'eau d'alimentation ne doit pas dépasser une certaine limite qui varie avec la pression. Cette limite est de :

60°	pour	2	atmosphères
50	—	5	—
40	—	8	—

L'injecteur peut aspirer l'eau d'alimentation, mais la hauteur de l'aspiration ne doit pas dépasser $1^m,50$; il est bon de placer l'injecteur au niveau de l'eau dans la chaudière.

Enfin, il est nécessaire, pour éviter les pertes de charges, de donner au tuyau de prise de vapeur et à celui de refoulement un diamètre fort, d'éviter autant que possible les coudes et, dans tous les cas, de ne faire que des coudes arrondis.

1177. M. Giffard a modifié l'appareil que nous venons de décrire pour les chaudières de mer ; ce nouvel injecteur est dit à *jet renfermé:* il est représenté figure 252. A est la prise de vapeur, C le

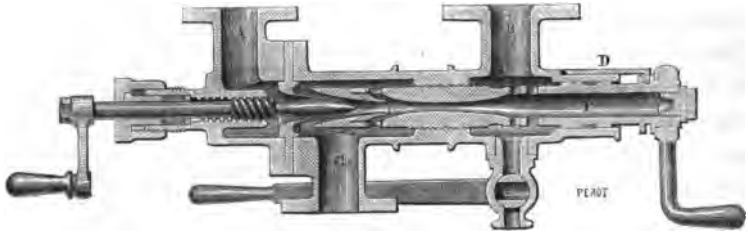


Fig. 252.

tube d'aspiration de l'eau, B le tube de refoulement ; D est une glissière liée à l'ajutage divergent T et sur laquelle se trouve marqué un repère correspondant à la marche relative à la pression moyenne dans la chaudière.

Dans cet appareil, le jet se forme dans la chambre d'aspiration de l'eau et pénètre directement dans l'ajutage divergent ; avec cette disposition, il n'y a plus besoin de régler l'arrivée de l'eau qui est entraînée en quantité correspondante à la quantité de vapeur injectée et à sa pression. Dans ces conditions, l'ajutage divergent pourrait être fixe, si n'était le nettoyage ; cependant on préfère conserver le moyen de le régler à l'aide d'une manivelle spéciale qui sert à le placer dans la position qui convient le mieux à la pression normale de la chaudière. La température maximum de l'eau injectée paraît être la même pour cet injecteur et pour le précédent. Outre l'avantage qu'a cet injecteur de ne point exiger de réglementation lorsque la pression dans la chaudière vient à changer, il en présente un autre au point de vue des machines marines, qui est de ne point introduire d'air dans la chaudière, air qui nuirait à la condensation.

1178. M. Bouvret a modifié tout récemment l'injecteur de façon à

n'avoir qu'un seul réglage pour l'eau et la vapeur ; son appareil est représenté figure 253. La tige HB est fixée à une double tuyère A filetée à l'extérieur et qui tourne dans un long écrou DE ; la longueur de la partie filetée fait joint ; le canal intérieur de la tuyère communique constamment avec le tuyau de vapeur par les orifices B. La tuyère extérieure porte des orifices en avant d'une rondelle CC, dont le bord dressé s'applique, quand l'appareil ne fonctionne pas, sur une saillie circulaire du tuyau de vapeur. L est le tuyau de

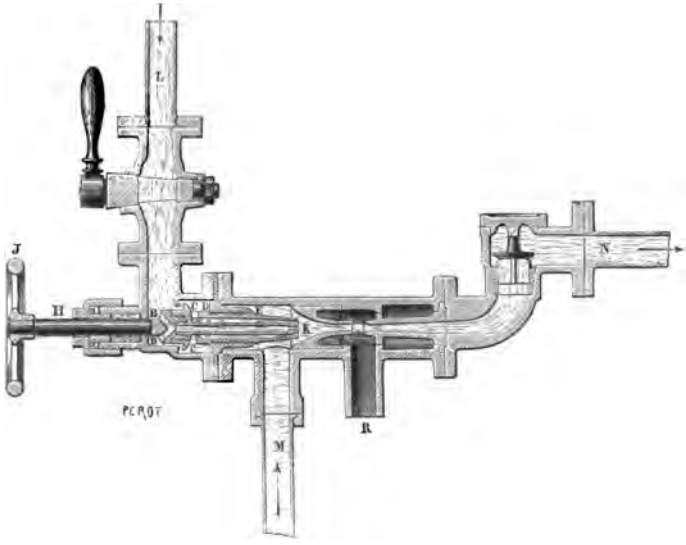


Fig. 253.

vapeur, M le tuyau d'aspiration de l'eau, N le tuyau de refoulement.

Pour mettre l'appareil en marche, on ouvre d'abord le robinet de vapeur, un filet de vapeur s'écoule en K et produit l'aspiration ; quand l'eau coule par le tuyau de trop plein R, on tourne la manivelle J, de façon à faire avancer la tuyère ; dans ce mouvement, l'accès de la vapeur en CC va en augmentant tandis que la section de passage de l'eau se rétrécit par l'avancement du bec de la tuyère dans l'ajutage de sortie de l'eau. L'appareil est réglé, quand il ne sort plus ni eau ni vapeur, par le tuyau de trop plein R.

1179. Dans l'injecteur Wabe et Cuau, on a disposé au-dessus de la chambre d'aspiration un tuyau que surmonte un petit réservoir. C'est sur ce tuyau que vient se brancher le tube d'aspiration ; au point de jonction se trouve un robinet à trois eaux qui permet de

mettre le réservoir en communication avec le tuyau d'aspiration, ou avec le corps de l'injecteur, ou enfin ce dernier avec le tuyau d'aspiration. Une disposition particulière du robinet de vapeur permet d'envoyer la vapeur dans le réservoir sans la faire entrer dans la tuyère, et réciproquement; la tuyère est sans aiguille; l'arrivée de l'eau se règle par l'avancement de la tuyère. L'ajutage de sortie est percé de trous qui ont pour but de faire arriver l'eau latéralement dans l'ajutage afin d'en faciliter le mélange avec la vapeur.

Pour la mise en train, le réservoir étant mis en communication avec le tuyau d'aspiration de l'eau, on y fait arriver la vapeur qui va se condenser dans la bâche d'alimentation en chassant l'air; on ferme la communication avec la vapeur; l'eau monte dans le réservoir en produisant un léger coup de bélier; on ouvre la communication entre le réservoir et le corps de l'appareil; l'eau descend et vient sortir par un trop plein latéral muni d'un clapet. On ouvre alors le robinet de vapeur et on fait communiquer le tuyau d'aspiration avec le corps de l'appareil. On règle l'arrivée de l'eau par l'avancement de la tuyère. Cet appareil est encore trop nouveau pour que l'emploi en ait été sanctionné par la pratique.

En Allemagne on emploie diverses modifications de l'injecteur.

1180. Celle qui est due à M. Friedmann est représentée figure 254. A est l'arrivée de la vapeur, B est celle de l'eau; K est un tuyau

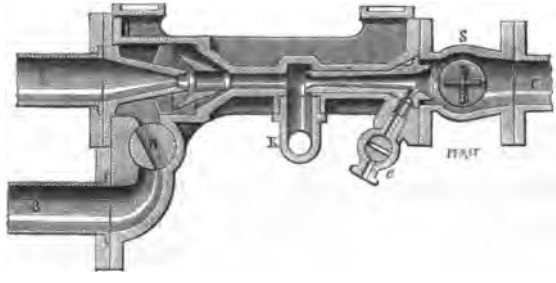


Fig. 254.

de trop plein, S est le clapet de retenue. La modification particulière à cet appareil consiste en une tuyère intermédiaire qui fournit à l'eau deux espaces annulaires de mélange avec la vapeur; cette disposition, d'après l'auteur, a pour effet d'obtenir une meilleure condensation de la vapeur et de produire un accroissement progressif de la vitesse.

1181. L'injecteur de M. Schau, représenté figure 255, est un

injecteur à jet fermé; A est l'arrivée de la vapeur, B est celle de l'eau, D est un orifice de trop plein fermé par un clapet, C est le tuyau de refoulement qui porte la soupape de retenue. L'ajutage de sortie de l'eau et l'ajutage divergent ne forment qu'une seule pièce; quatre

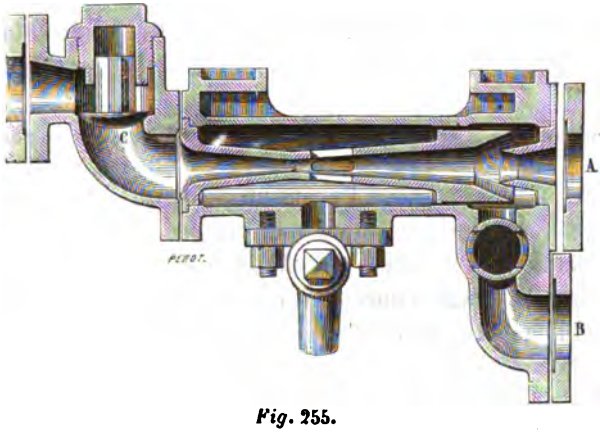


Fig. 255.

petites ouvertures percées au point de jonction des deux cônes permettent la sortie de l'eau en excès; une communication annulaire existe entre la chambre d'aspiration et celle de trop plein; elle avait pour but, d'après l'auteur, de produire une seconde condensation aux ouvertures latérales de l'ajutage de sortie. On a renoncé à cette dernière disposition, et l'appareil ainsi modifié est d'un emploi très-fréquent en Allemagne.

Les injecteurs employés en Angleterre ne diffèrent pas sensiblement de celui de M. Giffard.

1182. Ces différents appareils sont surtout employés sur les locomotives, pour lesquelles ils présentent l'avantage de permettre l'alimentation de la chaudière lorsque la machine est au repos; pour les chaudières fixes, les différentes méthodes d'alimentation que nous avons indiquées précédemment restent toujours en faveur.

1183. L'injecteur modifié et simplifié sert sous le nom d'éjecteur de machine à élever l'eau; il peut être d'un emploi utile lorsque l'eau doit être à la fois chauffée et élevée.

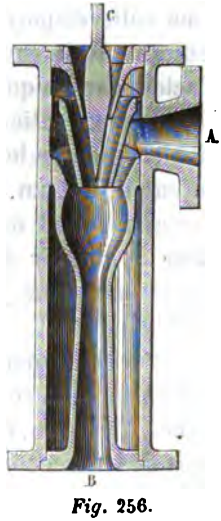


Fig. 256.

1184. Enfin, en intervertissant les conditions de l'injecteur,

c'est-à-dire en faisant arriver un jet d'eau dans l'axe d'une ou de plusieurs tuyères successives autour desquelles la vapeur pénètre par des espaces annulaires, on peut faire le vide dans des condenseurs de machine à vapeur; avec le condenseur à jet représenté figure 256, et qui est dû à M. Körting, de Hanovre, on pourrait obtenir une dépression de 740^{mm} de mercure en dépensant 12 litres d'eau par seconde et par force de cheval.

Chauffage de l'eau d'alimentation par la chaleur perdue.

1185. Il y a, comme nous l'avons vu (573), une très-grande quantité de chaleur perdue par les cheminées, à cause de la haute température à laquelle l'air brûlé est abandonné. Nous avons également constaté que le tirage n'éprouvait que de faibles variations par des changements assez considérables de température; et, comme il y a toujours dans les cheminées bien construites un grand excès de tirage, il s'ensuit qu'on peut toujours chauffer l'eau d'alimentation au moyen d'une chaleur perdue, et produire une économie notable de combustible, car elle peut s'élever à un sixième de la dépense.

1186. On pourrait d'abord faire circuler l'eau refoulée par la pompe alimentaire dans un tuyau d'un petit diamètre, diversement contourné, placé au bas de la cheminée ou à la suite de la chaudière. Mais cette disposition a un inconvénient grave : lorsque les eaux renferment du carbonate de chaux tenu en dissolution par un excès d'acide carbonique, ce qui arrive souvent, l'acide carbonique se dégage par l'action de la chaleur, le carbonate de chaux se précipite et engorge les tuyaux. Cet inconvénient pourrait être atténué en employant un faisceau de tubes parallèles que l'eau parcourrait successivement ou simultanément, et qui seraient disposés de manière à pouvoir être facilement nettoyés; si la chaudière devait fonctionner sans interruption, l'appareil devrait être évidemment double.

Cet échauffement de l'eau par la fumée, avant son issue par la cheminée, est souvent opéré dans des bouilleurs réchauffeurs, placés à la suite, ou au-dessous, ou à côté de la chaudière, ou bien dans des faisceaux de tuyaux de $0^{m},10$ à $0^{m},12$ de diamètre placés de même. Ces réchauffeurs ou ces tuyaux reçoivent l'eau d'alimentation refoulée par la pompe alimentaire, et cette eau passe de là dans la chaudière; l'inconvénient des dépôts est moins sensible

que dans le cas précédent, quoiqu'il existe encore pour les tuyaux.

On emploie depuis longtemps en Alsace un grand nombre de dispositions de réchauffeurs de ce genre.

1187. On a pensé également à chauffer l'eau, en l'injectant, sous forme de pluie, dans une partie du circuit parcouru par la fumée, et en recueillant dans un réservoir ouvert, placé au-dessous, l'eau qui a été échauffée et qui est prise par la pompe pour être introduite dans la chaudière. L'appareil peut être disposé de manière que l'eau soit séparée des dépôts avant d'arriver à la pompe. Mais cette disposition a l'inconvénient de refroidir sans utilité l'air brûlé par la formation de la vapeur, de salir l'eau par les matières qu'entraîne la fumée, et en outre de diminuer le tirage par le volume de vapeur qui se forme.

1188. Quand les machines sont sans condensation, la chaleur renfermée dans la vapeur à sa sortie est complétement perdue, et il suffirait d'en utiliser à peu près $\frac{1}{6}$ pour chauffer à 100° l'eau d'alimentation. Pour cela on peut employer différentes méthodes. La première consisterait à faire écouler la vapeur par un cylindre d'un assez grand diamètre, dans lequel serait placé un faisceau de tubes parcourus par l'eau refoulée par la pompe alimentaire; les tuyaux devraient être disposés de manière à ce qu'on pût facilement en extraire le carbonate de chaux déposé par suite de l'échauffement de l'eau. L'appareil pourrait être formé de deux boîtes circulaires parallèles, opposées et réunies par un grand nombre de petits tubes verticaux que l'eau parcourrait simultanément; le tout serait placé dans un cylindre vertical, dans lequel la vapeur pénétrerait par un orifice central ménagé dans la boîte inférieure. Le nettoyage de la boîte supérieure et des tubes s'effectuerait en enlevant le couvercle supérieur, et celui de la boîte inférieure par une tubulure latérale.

1189. On fait aussi l'inverse, c'est-à-dire que la vapeur de fuite de la machine passe dans un faisceau tubulaire placé dans un réservoir fermé où circule l'eau d'alimentation; cette disposition est préférable à la précédente au point de vue du chauffage.

1190. On chauffe aussi l'eau en la faisant affluer dans une capacité fermée que traverse la vapeur de fuite; les eaux chaudes sont recueillies dans une bâche où le carbonate de chaux se dépose et où se trouve le tuyau d'aspiration de la pompe alimentaire. MM. Legris et Choisy ont construit un appareil fondé sur ce principe. La figure 257 représente cet appareil : A, tuyau d'arrivée de la vapeur;

H, réservoir d'eau froide qui s'écoule par le tuyau FD et sort de la bâche CC que surmonte le tuyau d'échappement de la vapeur ; le débit de l'eau est réglé par le robinet G dont le mouvement est commandé par le flotteur J ; E, tuyau d'écoulement de l'eau chaude dans la bâche I ; R, compartiment de la bâche où se dépose le carbonate

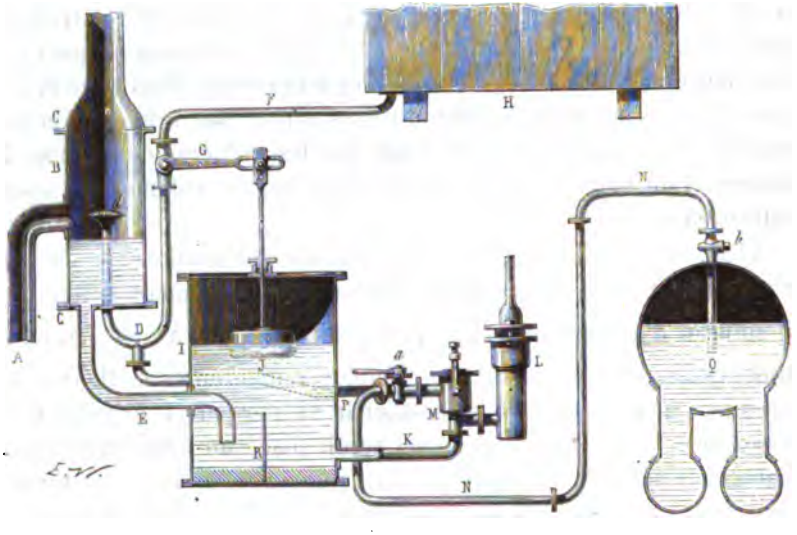


Fig. 257.

de chaux ; K, tuyau d'aspiration de la pompe ; L, corps de pompe ; M, boîte à clapets ; N, tuyau de refoulement muni d'un robinet *b* communiquant avec la chaudière Q ; P, tuyau muni d'un robinet *a* communiquant avec la bâche et avec le tuyau N, destiné à débarrasser ce tuyau de l'air et de la vapeur qui pourrait interrompre le jeu de la pompe. Cet appareil est assez compliqué, et il ne serait pas toujours facile de l'adapter à une pompe alimentaire existante, car on ne peut aspirer de l'eau chauffée à un certain degré. On peut y substituer des appareils plus simples et atteignant tout aussi bien le même but.

1191. En Amérique on emploie souvent une forme de réchauffeur qui est remarquable par sa simplicité ; l'eau arrive dans une bâche fermée par un tuyau qui communique avec un réservoir supérieur ; à la partie supérieure de cette bâche débouche un tuyau vertical qui se termine par une pomme d'arrosoir et descend à une petite distance du niveau de l'eau dans la bâche ; ce

tuyau amène la vapeur de fuite qui se trouve lancée contre la surface de l'eau et l'échauffe, le toit de la bâche porte un tuyau d'échappement pour l'excès de la vapeur, un tuyau latéral met la bâche en communication avec la pompe alimentaire. Dans cet appareil les conditions du chauffage sont moins régulières que dans les précédents.

1192. La disposition la plus convenable consiste à placer dans un réservoir clos en fonte ou en tôle, et recevant avant son entrée dans la chaudière l'eau qu'y refoule la pompe alimentaire, un appareil dans lequel circule la vapeur de fuite; celle qui n'a pas été condensée pendant son passage s'écoule dans l'atmosphère. Cette surface de chauffe peut être constituée de différentes manières; on peut employer un appareil en fonte de forme spéciale, un serpentin, un faisceau tubulaire; mais il faut toujours prendre bien soin de rendre les surfaces accessibles pour le nettoyage, car les eaux laissent toujours des dépôts.

Comme l'alimentation se fait toujours par intermittence, il est utile d'avoir un certain volume d'eau dans le réchauffeur, ce à quoi on peut toujours satisfaire au moyen de la disposition que nous venons d'indiquer. Cette disposition présente en outre l'avantage de ne pas exiger un réservoir supérieur ou une seconde pompe pour l'introduction de l'eau dans la bâche.

On peut ainsi élever l'eau facilement à une température voisine de 80 à 90° à la condition de donner à la surface de chauffe une étendue convenable.

1193. On peut admettre que dans le cas de la fonte ou du fer la quantité de chaleur qui se transmet par mètre carré et par heure dans le mode de chauffage actuel est de 500 calories environ par chaque degré d'excès de température de la vapeur sur celle de l'eau.

Nous savons en effet que dans un chauffage régulier par la vapeur et quand il n'y a pas d'eau dans les conduits de vapeur, cette quantité est de 1500 à 2000 calories; or, dans le cas présent, l'arrivée de la vapeur de fuite est intermittente, elle ne se produit guère que pendant la moitié du temps total, et à chaque intermittence le tuyau se remplit d'air.

Si l'eau est prise à 10° et si on veut la porter à 90°, le nombre de calories à dépenser par kilogramme d'eau sera de $90 - 10 = 80$, et si n est le nombre de kilogrammes d'eau à fournir à la chaudière en une heure, $80\,n$ sera le nombre de calories à fournir; d'un autre côté la vapeur de fuite étant supposée à 100°, la différence de tem-

pérature entre l'eau et la vapeur sera de 10°; un mètre carré de surface de chauffe laissera donc passer $500 \times 10 = 5000$ calories en une heure; la surface de chauffe à employer sera donc $80\,n : 5000$. Observons que cette surface diminue rapidement quand la température de l'eau qu'on veut obtenir s'abaisse elle-même; aussi elle serait la moitié seulement pour de l'eau à 80°; le tiers pour de l'eau à 70°, etc.

CHAPITRE VI

Appareils pour séparer de la vapeur l'eau qu'elle entraîne.

1194. Lorsque la vapeur sort d'une chaudière, elle entraîne toujours avec elle une certaine quantité d'eau liquide en très-petits globules. Cette eau paraît provenir principalement des enveloppes des bulles de vapeur, qui viennent crever à la surface. La quantité d'eau entraînée est très-grande quand on ouvre subitement une large issue à la vapeur, à cause de l'ébullition tumultueuse qui en résulte, surtout quand l'orifice d'écoulement de la vapeur est situé au-dessus d'un des tubes de communication de la chaudière avec un bouilleur. Dans certaines circonstances, on voit sortir une espèce d'émulsion semblable à de l'eau de savon battue. L'existence de l'eau à l'état liquide dans la vapeur est constatée par la présence des dépôts que produit l'eau dans tous les tuyaux qui conduisent la vapeur. Cette eau, entraînée mécaniquement, n'a que de faibles inconvénients quand la vapeur doit être employée au chauffage; elle peut seulement former des dépôts qui, à la longue, obstruent les tuyaux de chauffage, ou diminuent leur conductibilité; mais, pour les machines à vapeur, elle présente de graves inconvénients et produit une perte de chaleur notable, car toute celle qu'elle renferme est perdue.

1195. D'après des expériences faites par M. de Pambour, la quantité d'eau entraînée par la vapeur, dans les locomotives sur lesquelles il a opéré, serait comprise entre 0,30 et 0,40 du poids de la vapeur. Sur les chemins de fer de Versailles (rive gauche) et d'Orléans, M. Lechatelier a trouvé 0,40 pour la quantité d'eau entraînée mécaniquement. Des expériences, faites par MM. Gouin et Lechatelier sur une machine du chemin de fer de Versailles (rive droite), ont donné seulement 0,18. Sur le chemin de fer du Nord, M. Bertera a trouvé en moyenne 0,42 pour les locomotives à voyageurs, et 0,52 pour les locomotives à marchandises. On voit, d'a-

près cela, que les quantités d'eau entraînées mécaniquement sont considérables et qu'elles varient entre des limites assez étendues. Ces expériences ont été faites en déterminant le poids de l'eau consommée dans un certain parcours, et en comparant ce poids à celui de la valeur consommée d'après les dimensions des cylindres, la détente et le nombre des coups de piston. Il est évident que ces nombres comprennent les fuites et les diverses condensations ; ils doivent être considérés comme des maximums. Pour les machines de manufactures, ces nombres doivent être considérablement réduits.

On a proposé et essayé plusieurs moyens de débarrasser la vapeur de l'eau liquide qu'elle contient; nous les indiquerons successivement.

1196. On a d'abord fait communiquer l'orifice par lequel la vapeur doit sortir de la chaudière avec un tuyau de même diamètre, horizontal, occupant dans la chambre de vapeur toute la longueur de la chaudière, et percé à sa partie supérieure d'un grand nombre d'orifices dont les diamètres vont en croissant à mesure qu'ils s'éloignent de l'orifice de sortie, et dont la somme des airs est au minimum égale à la section du tuyau. Par cette disposition, la prise de vapeur se fait dans toute la longueur de la chaudière ; l'abaissement de pression ayant lieu dans une grande étendue, l'ébullition est beaucoup moins tumultueuse, et il doit y avoir beaucoup moins d'eau entraînée que dans les dispositions ordinaires. Cet appareil, imaginé par M. Ewbank, a donné de bons résultats.

1197. On a proposé ensuite d'établir la prise de vapeur à l'extrémité d'un tuyau qui circulait sur le fond de la chaudière et communiquait ensuite avec la tubulure de sortie ; l'orifice était surmonté d'une soupape que l'on rapprochait convenablement de cet orifice au moyen d'une tige à vis passant à travers une boîte à étoupe. Par cette disposition, l'orifice d'entrée de la vapeur dans le tuyau pouvant être plus petit que la section du tuyau, la vapeur, en y entrant, éprouve une dilatation qui produit la vaporisation de l'eau entraînée à l'état liquide ; la vapeur se réchauffe en parcourant la partie inférieure du tuyau, et peut sortir sensiblement saturée et sans eau.

1198. On peut aussi dessécher la vapeur en la chauffant au moyen de la chaleur de l'air brûlé à la sortie des carneaux ; il est possible de vaporiser ainsi la totalité de l'eau entraînée, mais en général il restera une certaine quantité d'eau, ou bien la vapeur sera surchauffée. M. Sorel proposa en France, bien avant qu'on l'eût essayée en Amérique, de diviser la vapeur en deux courants : l'un des deux tra-

verse un serpentin dans lequel la vapeur est surchauffée, et arrive ensuite dans un récipient où il se mélange à l'autre courant. On peut ainsi régler par des robinets les proportions de vapeur saturée et surchauffée. Ce moyen est compliqué à cause de l'appareil de surchauffement, et jusqu'à présent il n'a été employé que dans quelques essais.

1199. Une disposition assez efficace consiste (*fig.* 258) en un vase de fonte, de tôle ou de cuivre, renfermant de l'eau jusqu'à une certaine hauteur, dans lequel la vapeur est amenée par un tuyau AB, qui se prolonge verticalement dans le vase jusqu'à 20 ou 30 centimètres du niveau de l'eau, et d'où elle sort ensuite par un tuyau CD qui s'ouvre sur le couvercle. Les globules d'eau renfermés dans la vapeur se précipitent dans l'eau du vase et y restent, tandis que la vapeur s'échappe presque sèche. Un niveau d'eau fait connaître au chauffeur la hauteur du liquide dans le vase, et un tube qui retourne à la chaudière permet de n'y laisser que la quantité convenable.

Fig. 258.

Fig. 259.

1200. On pourrait rendre l'appareil plus simple et diminuer le refroidissement, en plaçant le vase de projection d'eau en partie dans la chaudière, comme l'indique la figure 259. Il faudrait alors percer la partie inférieure du vase d'un certain nombre d'orifices, pour que le niveau de l'eau se maintînt sensiblement le même que dans la chaudière. Diverses variantes de cette disposition ont été employées.

CHAPITRE VII

Fourneaux.

1201. On désigne, ainsi que nous l'avons déjà dit, sous le nom de *carneau*, le canal dans lequel circule la fumée, au-dessous et autour de la chaudière, avant de se rendre dans la cheminée. C'est en parcourant les carneaux que l'air brûlé doit se refroidir jusqu'à 300°, température à laquelle la fumée arrive ordinairement dans la cheminée. La forme et la longueur des carneaux ont une grande influence sur l'effet utile produit, du moins quand la combustion a lieu dans de bonnes conditions.

Plusieurs ingénieurs ont avancé que la circulation de l'air brûlé dans les carneaux était presque inutile. Les carneaux ont, en effet, peu d'influence quand la quantité d'air qui traverse le combustible est trop grande, parce qu'alors la température de l'air qui sort du foyer est peu considérable, et que le chauffage n'a presque lieu que par rayonnement; mais, quand la combustion est alimentée par le volume d'air seulement nécessaire, la circulation de l'air brûlé dans les carneaux augmente beaucoup la quantité de vapeur produite.

Nous rapporterons à ce sujet une expérience faite par M. Walter de Saint-Ange. Dans une chaudière à deux bouilleurs, présentant 13 ^{mq} 46 de surface de chauffe, on a évaporé 1480 litres d'eau en 5 heures, par la combustion de 213 kilogrammes de houille. Chaque kilogramme de houille a produit environ 7 kilogrammes de vapeur, et la quantité moyenne de vapeur produite par heure et par mètre carré de surface de chauffe a été de 22 kilogrammes. En supprimant complétement la circulation de l'air chaud autour de la chaudière, et par conséquent en ne chauffant que les bouilleurs, la surface de chauffe était réduite à 8^{mq}19, et on a produit 13,16 kilogrammes de vapeur en 5 heures, avec la même consommation de combustible; ainsi chaque kilogramme de houille a produit 6^{k}18 de vapeur, et chaque mètre carré 32^{k}48. Ainsi la surface de chauffe, placée dans dans les carneaux, a produit, dans la première expérience, 1480 — 1316 = 164 kilogrammes de vapeur en 5 heures, ou 32^{k}78 par heure, et chaque mètre carré 32,78 : 5,27 = 6^{k}10. Les quantités de vapeur produites par heure et par mètre carré de la chaudière et des bouilleurs étaient 32^{k}48 et 6^{k}10, et la chaudière ne produisait

que 164 : 1480 = 0,11 de l'effet total. M. Walter n'a pas déterminé la quantité d'oxygène libre qui se trouvait dans la fumée ; mais il est probable qu'elle était considérable, et que, si elle eût été seulement de 0,1, l'effet produit par les carneaux aurait été beaucoup plus grand.

1202. *Disposition et dimensions des carneaux.* — Dans les chaudières fixes horizontales, à foyer extérieur, l'air brûlé parcourt d'abord toute la partie inférieure de la chaudière, et fait ensuite le tour complet de sa partie latérale. On donne au maximum aux carneaux la section de la cheminée à son sommet; mais, si on voulait donner à la fumée une vitesse constante, en supposant que l'air, en sortant du foyer, fût à 7 ou 800°, et à l'entrée de la cheminée à 300°, la section des carneaux devrait décroître à peu près uniformément dans le rapport de 25 ou 29 à 11. On ne sait pas s'il y a de l'avantage, sous le rapport du refroidissement de l'air brûlé, à le faire passer plus ou moins vite contre la même surface de chauffe, en donnant au carneau une section plus ou moins faible; il est probable que l'influence de cette section dépend de la position de la surface de chauffe. Pour le canal qui se trouve au-dessous de la chaudière, il semble qu'il n'y a pas d'inconvénient à lui donner un excès de section, parce que l'air chaud suivra toujours la surface de la chaudière; mais il n'en serait pas ainsi des carneaux latéraux, car, s'ils étaient trop grands, le courant n'aurait lieu qu'à la partie supérieure, et on perdrait une grande partie de la surface de chauffe.

1203. On a reconnu par expérience que, si l'air brûlé revenait en avant simultanément par les deux faces latérales, il ne se distribuait pas également dans les deux carneaux, et que, s'ils étaient trop grands, il n'en parcourait qu'un seul, celui qui présentait le moins de résistance. C'est une disposition qu'il faut éviter, et, si on est forcé de l'employer, il serait bon de disposer, à l'issue de chacun des carneaux, des registres que l'on réglerait par tâtonnement, de manière à diviser également la fumée entre eux.

1204. On a proposé de placer sur le fond du carneau qui règne au-dessous de la chaudière, des cloisons transversales, destinées à changer plusieurs fois la direction du courant; cette disposition diminue l'étendue de la surface de chauffe, concentre le rayonnement du foyer sur une plus petite partie de la chaudière, diminue le tirage, et ne permet pas de nettoyer facilement le fond de la chaudière; aussi a-t-elle été complétement abandonnée.

Les carneaux latéraux doivent être munis, à une des extrémités,

d'une ouverture, ordinairement fermée ou par des briques ou par des plaques de tôle ou de fonte ; cette ouverture sert à enlever de temps en temps la suie qui s'accumule contre la surface des chaudières, et qui diminue de beaucoup la quantité de chaleur transmise.

1205. Tout ce que nous venons de dire relativement aux chaudières composées d'un seul corps cylindrique horizontal est applicable aux chaudières à bouilleurs ; nous avons seulement une observation à faire relativement à la position de la voûte qui sépare le carneau des bouilleurs de ceux de la chaudière.

Dans les anciennes chaudières, le carneau des bouilleurs était formé par deux rangées de briquetage buttant contre les bouilleurs en leur milieu et par une autre rangée posée dans l'extra-dos des bouilleurs, comme on le voit fig. 273 ; mais par cette disposition on perdait complétement, comme surface de chauffe, la moitié de la surface des bouilleurs, parce que leur partie supérieure se recouvrait de cendres qui diminuaient beaucoup la transmission. Maintenant on place cette fermeture à la partie supérieure, de façon à utiliser à peu près les trois quarts de la surface des bouilleurs, ou bien on établit une voûte surbaissée un peu au-dessus des bouilleurs, comme on le voit fig. 276.

1206. On donne ordinairement aux carneaux latéraux, comme nous l'avons déjà dit, la section minimum de la cheminée, ou une section décroissante du foyer à leur extrémité ; mais il paraît, d'après quelques faits pratiques, qu'il y aurait de l'avantage à leur donner une section beaucoup plus grande ou beaucoup plus petite. Malheureusement les phénomènes qui se produisent dans la transmission de la chaleur de l'air chaud aux surfaces du générateur sont très-compliqués, et des considérations théoriques ne peuvent conduire qu'à des aperçus. Dans le cas que nous considérons, un courant d'air chaud, qui parcourt un canal, chauffe directement les surfaces de la chaudière et des carneaux ; la chaleur de ces derniers se transmet par rayonnement à la chaudière, et les veines d'air refroidies reprennent lentement de la chaleur aux veines centrales, soit par une propagation directe, soit par les mouvements qui résultent du frottement ou des différences de température, et des changements de section ou de direction. Supposons que la section des carneaux soit beaucoup diminuée, la surface de chauffe restant la même, de manière que l'air qui parcourt la surface de la chaudière ne forme qu'une lame très-mince, la vitesse de l'air sera beaucoup augmentée ; la transmission de la chaleur des veines centrales à celles qui touchent la

chaudière s'effectuera très-rapidement; l'air se refroidira plus vite dans le même trajet; sa température à la sortie sera plus abaissée, et l'effet utile des surfaces de chauffe sera augmenté; mais il en résulte nécessairement un accroissement de résistance. Si l'on suppose, au contraire, que les carneaux aient une grande section, le mouvement sera très-lent, les veines refroidies par leur contact avec la chaudière auront plus de temps pour reprendre la chaleur aux couches centrales; les mouvements résultant des différences de température pourront se produire facilement; il se formera des courants descendants contre les surfaces de chauffe; et si, en même temps, on a donné aux carneaux un profil qui en augmente sensiblement la surface qui rayonne sur la chaudière, on conçoit que, dans ce cas encore, l'effet utile des surfaces de chauffe doive être augmenté. Pour éviter la fréquence des nettoyages, on donne aux carneaux une section sensiblement plus grande que le minimum nécessaire ; mais il faut avoir soin de faire les carneaux latéraux étroits à leur partie supérieure et de faire sortir la fumée au bas du dernier parcours.

1207. Les fourneaux se construisent en briques; l'intérieur du foyer et le carneau qui le suit doivent toujours être en briques suffisamment réfractaires liées entre elles par de la terre à brique; pour la masse du fourneau, on emploie des briques ordinaires réunies par du mortier de chaux et de sable fin.

Il est utile d'établir au-dessous du carneau inférieur un espace voûté, pour diminuer la transmission de la chaleur dans le sol, et pour faciliter le dépôt des cendres en interrompant cette voûte en certains points de sa longueur.

1208. Il est bon d'élever la maçonnerie à la hauteur des tubulures qui portent les différents appareils de niveau, de sûreté, d'alimentation et d'écoulement de la vapeur, et enfin de recouvrir la partie supérieure de la chaudière, afin de diminuer la quantité de chaleur perdue par le rayonnement.

1209. On emploie rarement une seule chaudière, du moins quand le travail ne doit pas éprouver d'intermittence. Dans les grands appareils, il y a toujours trois ou quatre chaudières, quand deux ou trois suffiraient. On les place à côté les unes des autres, afin de diminuer la perte de chaleur par les parois exposées à l'air. Mais il est utile de ne pas les rendre solidaires, et de les isoler les unes des autres par des intervalles vides ménagés dans la maçonnerie.

1210. La dilatation des briques et l'insuffisance de leur liaison

entre elles produisent dans les fourneaux des mouvements qui ne sont point accompagnés de retrait pendant le refroidissement, et qui à la longue produisent des fissures. Pour prévenir la prompte détérioration des fourneaux, on les consolide souvent avec des tirants et des bandes de fer ou des plaques de fonte qu'on désigne sous le nom d'*armatures*, et qui ont pour objet de s'opposer aux dislocations qui tendent à se produire.

1211. Quand le fourneau est vertical et circulaire, des cercles de fer serrés par des clavettes et enveloppant des bandes verticales de fer appliquées contre la maçonnerie, forment un bon système d'armature. Des cercles espacés de $0^m,40$ environ suffisent pour faire une bonne armature.

Quand le fourneau est rectangulaire, cette dernière disposition devient inefficace.

On emploie, pour consolider la maçonnerie, les armatures dont nous avons parlé (613) à l'occasion des cheminées.

Pour éviter les armatures et en même temps le refroidissement, on met souvent les chaudières en contre-bas du sol. Cette disposition dispense en outre des constructions accessoires exigées dans certains cas par les ordonnances.

CHAPITRE VIII

Incrustations des chaudières et influence de certaines eaux d'alimentation.

1212. Les eaux introduites dans les chaudières y déposent, par leur vaporisation, toutes les matières qu'elles tenaient en dissolution. Ces dépôts s'effectuent sous la forme de boues ou de croûtes plus ou moins dures et plus ou moins adhérentes à la surface intérieure de la chaudière ; ils diminuent nécessairement la transmission de la chaleur du métal à l'eau (du moins quand ils ont acquis une certaine épaisseur), et par conséquent l'effet utile du combustible. En outre, le métal de la chaudière doit s'échauffer beaucoup plus, et par suite devenir plus oxydable et perdre une partie de sa ténacité. Ces incrustations ont, par conséquent, une grande influence sur l'altération des chaudières, et paraissent avoir été quelquefois des causes d'explosion.

1213. M. Cousté, ancien élève de l'École polytechnique, dans un

travail remarquable à plusieurs égards sur les incrustations des chaudières à vapeur (*Annales des Mines*, 1854), a fait de très-longs calculs pour déterminer la perte de chaleur due aux incrustations, et il l'estime à 0,40. Mais cette perte, qui provient du décroissement de la transmission de la chaleur à travers les surfaces incrustées, dépend d'un trop grand nombre d'éléments pour pouvoir être calculée; M. Cousté fait d'ailleurs intervenir dans ses calculs l'épaisseur du métal, qui est absolument sans influence. Il est bien certain que la transmission de la chaleur se trouve diminuée par les incrustations; mais le décroissement suit une loi beaucoup moins rapide que celle à laquelle M. Cousté est conduit, à cause de la température fort élevée de la surface extérieure de la chaudière et du décroissement moins rapide de la température de l'air brûlé dans son trajet; par suite, le chiffre de 0,40, qui résulte de ces calculs, nous paraît très-exagéré.

1214. Le poids des dépôts varie avec la nature des eaux dans des limites très-étendues. D'après des expériences faites sur de l'eau d'un puits de Paris, 100^k d'eau, en s'évaporant, laissaient un résidu de $0^k,18$. En employant cette eau pour une machine à vapeur de 20 chevaux sans condensation, dont la consommation de vapeur serait à peu près de 480^k par heure, le dépôt dans le même temps serait de $0^k,864$; par vingt-qnatre heures, de $20^k,72$; et pour un travail continu d'un mois, de $621^k,9$. L'eau de Seine, qui pour 100^k ne renferme que $0^k,0186$ de sels, ne donnerait dans les mêmes circonstances qu'un dépôt dix fois moindre. Dans une chaudière à vapeur de la fabrique de céruse de Clichy, après trois semaines d'un travail de dix heures par jour, les incrustations avaient 5 centimètres d'épaisseur; la partie inférieure des bouilleurs ne durait pas au delà de huit à dix mois. Dans une chaudière locomobile à tubes intérieurs, disposés comme ceux des locomotives, les incrustations qui recouvraient les tubes remplissaient presque complétement l'espace qui les séparait, et la chaudière devait évidemment, en fonctionnant dans ces conditions, être mise rapidement hors de service.

1215. Les incrustations se produisent non-seulement dans les chaudières, mais dans les parties des tubes d'alimentation qui plongent dans les chaudières. Elles peuvent les fermer dans les intervalles de repos, et produire la rupture de la chaudière par suite de l'abaissement du niveau de l'eau.

1216. Pour éviter l'influence des dépôts et des incrustations, on est obligé de temps en temps d'interrompre le travail, de laisser

refroidir le fourneau, d'enlever les boues par des lavages, et les matières solides, adhérentes aux surfaces de la chaudière, à l'aide du burin et d'un travail long et très-pénible. Lorsque les incrustations renferment beaucoup de carbonate de chaux, on facilite le nettoyage en introduisant dans la chaudière de l'acide chlorhydrique, qui, en décomposant ce sel, détruit la cohésion des incrustations et les réduit à l'état de boue, qu'on enlève ensuite par des lavages ; mais cette opération est dangereuse, parce que l'acide attaque fortement le fer.

1217. On a employé différents moyens pour éviter les incrustations. On s'est d'abord servi des pommes de terre; la colle de fécule qui se produit s'interpose dans les dépôts, et ne leur permet pas de prendre de l'adhérence. Mais la colle donne à l'eau une certaine viscosité qui favorise son entraînement par la vapeur. On a aussi employé le son; cette matière agit, comme les pommes de terre, par la petite quantité de fécule qui s'y trouve, et en outre en s'interposant directement dans les dépôts.

1218. M. Chaix, en 1836, a proposé, pour éviter l'adhérence, d'introduire dans les chaudières une certaine quantité d'argile plastique. L'argile, interposée dans les dépôts, détruit complétement toute adhérence, et il suffit de laver les chaudières à grande eau, après certains intervalles, opération qui n'exige pas que les fourneaux soient refroidis. L'emploi de la terre argileuse avait déjà été indiqué dans le même but, en 1826, par M. Pelouze, dans le *Manuel du manufacturier*.

Les ingénieurs de la Marine ont rendu le compte le plus favorable de l'emploi de l'argile dans les chaudières de bateaux à vapeur. Voici, en outre, les résultats de plusieurs expériences faites par une commission de la Société d'encouragement dans les ateliers de M. Cavé, sur la chaudière d'une machine de 10 chevaux. On a introduit dans la chaudière 20 kilog. d'argile délayée dans l'eau, et, après huit jours de travail, il n'y avait aucune incrustation ; de sorte qu'un simple lavage, qui dure une demi-heure, suffit pour mettre la chaudière en état. L'expérience fut répétée, mais prolongée pendant quinze jours, et les résultats furent les mêmes. Une troisième expérience, faite sur une autre chaudière, réussit également.

1219. Mais l'emploi de l'argile a un très-grand inconvénient; il faut que cette substance soit délayée dans un grand volume d'eau; car, si on l'introduit en masse ou en pâte épaisse, elle se dépose au fond de la chaudière et la fait rougir. Le même effet a lieu lors-

qu'une chaudière reste en repos pendant plusieurs jours. Pour employer l'argile dans des conditions favorables, il faudrait l'introduire d'une manière continue avec l'eau d'alimentation elle-même, et ne pas laisser longtemps l'eau en repos dans la chaudière quand elle ne produit pas de vapeur, ce qui est impossible. C'est probablement à cause de ces inconvénients, et probablement aussi de quelques autres circonstances qui ont accompagné les expériences des ingénieurs de la Marine, que l'emploi de l'argile est complétement abandonné, même dans la marine de l'État.

On a quelquefois employé la graisse et l'huile pour lubréfier les dépôts et empêcher l'adhérence ; mais les substances sont presque souvent inutiles et peuvent devenir dangereuses ; les morceaux de graisse qu'on introduit dans la chaudière, au lieu de fondre se combinent à leur surface avec la chaux, et forment un savon calcaire insoluble qui se réunit en boule et roule ou s'attache sur le fond de la chaudière.

On voit donc qu'on peut employer des substances en grand nombre dont l'action est purement mécanique, sert seulement à maintenir les dépôts à l'état de boue et ne les laisse pas adhérer sous la forme d'incrustation. On voit aussi que cette action peut s'exercer de deux façons : 1° par une action lubréfiante et toutes les substances qui donnent à l'eau une certaine viscosité amènent ce résultat, comme il arrive pour la fécule, les pommes de terre, la gélatine, les os, la gomme, la corne, les ergots, les huiles, les graisses, la stéarine ; nous avons indiqué les inconvénients des matières grasses, les matières visqueuses ont le désavantage d'amener la production de mousse par l'ébullition, et cette vapeur prime dans les machines ; 2° par une simple interposition entre les particules du dépôt ; c'est le cas de l'argile, ce serait aussi celui du sable, du coke ou du verre pilé, etc. Nous avons dit ce qui a fait abandonner l'argile, quant aux autres substances inertes, elles ont l'inconvénient d'augmenter la quantité de matière qu'il s'agit d'enlever de la chaudière ; d'ailleurs ces substances peuvent être entraînées dans les conduits de vapeur et devenir une cause d'altérations des robinets, valves et même des cylindres des machines.

Pour prévenir l'adhérence des dépôts sur la paroi, on enduit quelquefois la chaudière à l'intérieur, soit d'une couche de goudron, soit d'un mélange de suif, de mine de plomb et de savon mou ; ce dernier mélange est souvent employé en Angleterre. Nous ne croyons guère à l'efficacité de ces enduits qui doivent être rapide-

ment altérés par les sels de chaux et faciliter au lieu de l'éviter l'adhérence de la couche calcaire.

1220. Pour faire voir combien la présence des corps étrangers déposés au fond des chaudières facilite leur détérioration, je rapporterai une observation faite par M. Gourlier, alors inspecteur des travaux de la Bourse. Peu de jours après la mise en activité du générateur destiné au chauffage de la Bourse, on s'aperçut qu'il était percé au fond ; on arrêta le feu, et on reconnut, après avoir vidé la chaudière, que le métal était brûlé dans un endroit où s'étaient trouvés quelques chiffons assez volumineux qui avaient été oubliés dans la chaudière lors de son établissement.

1221. En 1845, MM. Neron et Kurtz, ayant remarqué qu'une chaudière à vapeur, alimentée par une petite rivière dont les eaux étaient colorées par des bains de teinture épuisés, ne produisait point d'incrustations, pensèrent que cet effet provenait des matières colorantes en dissolution dans ces eaux, et des expériences directes confirmèrent cette supposition. Après l'examen des résultats, le moyen qu'ils ont indiqué consiste à introduire dans une chaudière 1 kilogr. de bois de campêche en poudre ou en copeaux par force de cheval; cette quantité de matière est suffisante pour éviter les incrustations pendant six semaines ou deux mois. Mais, comme les copeaux peuvent être entraînés par la vapeur, on a reconnu depuis qu'il était plus avantageux d'introduire dans la chaudière la matière colorante en dissolution. D'après des expériences faites à Paris sur une machine de 16 chevaux, 1 kilogr. d'extrait solide de bois de campêche, par semaine, était suffisant pour empêcher l'agrégation des dépôts et les réduire à l'état de boue; la dépense par semaine était de 6 francs. La meilleure manière d'introduire la matière colorante dans la chaudière consiste à la dissoudre dans l'eau d'alimentation, et pour cela il suffit de placer les copeaux de bois de campêche dans un sac en toile plongé dans le réservoir d'alimentation; la matière colorante se dissout lentement, de sorte que les eaux d'alimentation en contiennent peu. Il paraît que, dans ce mode d'opération, la matière colorante est absorbée par les dépôts à mesure qu'ils se forment, et s'oppose à leur adhérence.

1222. De nombreuses expériences, faites à Saint-Quentin et à Lille dans plusieurs grandes usines, ont donné de très-bons résultats ; mais, dans d'autres localités, ce procédé n'a pas réussi ; il a été employé sans succès dans les générateurs des bateaux à vapeur naviguant sur mer. Comme les eaux d'alimentation des chaudières

de Saint-Quentin et de Lille ne renferment point de sulfate de chaux, que les dépôts formés par l'eau de mer sont en très-grande partie formés de ce sel, il est très-probable que les matières colorantes n'agissent que sur le carbonate de chaux.

1223. On a proposé aussi d'employer la sciure de bois et beaucoup d'autres matières en poudre ; on a réussi quelquefois ainsi à éviter l'adhérence des dépôts ; mais ces matières, à cause de leur entraînement par la vapeur, présentent des inconvénients qui ont fait renoncer à leur emploi.

On a fait aussi séjourner l'eau d'alimentation dans un réservoir contenant des fagots d'écorce de chêne ; l'action qui se produit est alors due au tannin que renferme l'écorce et est la même que celle du bois de teinture ; c'est aussi à la présence du tannin qu'on peut attribuer l'effet du cachou.

1224. On trouve dans le commerce beaucoup de matières vendues comme propres à empêcher les incrustations, et qui sont composées de la manière la plus singulière ; il en est où l'on découvre, par l'analyse, du sel de soude, du cachou, de la dextrine, de la potasse, du sucre, de l'alun et de la gomme arabique. Il est évident qu'une pareille matière, introduite dans les chaudières, s'opposerait aux incrustations, si elle renfermait assez de sel de soude pour transformer le sulfate de chaux en carbonate de chaux, et une quantité suffisante de matière analogue aux extraits de bois de teinture pour s'opposer aux incrustations formées par le carbonate de chaux ; mais outre que les proportions de ces matières doivent dépendre nécessairement de la composition des eaux, leur composition, étant le plus souvent inconnue, est variable au gré des marchands, et l'on ne sait pas nettement ce qu'on introduit dans sa chaudière. Il serait évidemment plus simple d'effectuer la précipitation des sels de chaux avant l'alimentation ; l'opération s'effectuerait à moins de frais, et les dépôts resteraient en dehors.

1225. M. Kulhmann a indiqué un procédé qui réussit parfaitement quand les eaux ne renferment que du carbonate de chaux : il consiste à introduire dans la chaudière une certaine quantité de carbonate de soude ou de potasse ; ces sels s'emparent immédiatement de l'acide carbonique qui tient le carbonate de chaux en dissolution, ce dernier se précipite ; et, comme la précipitation est très-rapide, les dépôts ne s'agglomèrent pas et restent à l'état de boues. Mais, comme l'acide carbonique dont le carbonate alcalin s'est emparé se dégage par la chaleur, le carbonate de soude se retrouve bientôt à

l'état primitif et peut agir de nouveau de la même manière ; de sorte qu'avec une très-petite quantité de carbonate alcalin on peut déterminer la précipitation du carbonate de chaux renfermé dans une quantité d'eau presque indéfinie. Pour les eaux de puits contenant beaucoup de carbonate de chaux, M. Kulhmann propose d'introduire par mois, dans la chaudière, 100 à 150 grammes de sel de soude par force de cheval. Ce procédé réussit parfaitement à Lille et à Arras ; mais à Paris, où les eaux renferment beaucoup de sulfate de chaux, il n'a pas empêché les incrustations.

1226. On emploie encore différentes substances qui agissent chimiquement sur les sels dissous dans l'eau, parmi lesquels nous pouvons citer : le carbonate de baryte, qui décompose le sulfate de chaux, en formant du sulfate de baryte et du carbonate de chaux ; le chlorure de baryum, qui précipite aussi les sulfates et les carbonates ; le chlorhydrate d'ammoniaque qui forme avec le carbonate de chaux du carbonate d'ammoniaque et du chlorure de calcium ; ce sel a l'avantage de remplacer le dépôt de carbonate de chaux par un produit soluble, mais il a l'inconvénient grave d'être entraîné par la vapeur dans les machines et d'altérer la fonte. Quel que soit le réactif employé, on conçoit que son efficacité ne peut être réelle, pour précipiter les sels de l'eau, qu'autant qu'il est introduit en quantité déterminée par la nature et la quantité de l'eau évaporée dans la chaudière. Différents moyens sur lesquels nous ne voulons pas insister ici sont employés pour introduire régulièrement le réactif en quantité convenable ; cette quantité doit d'ailleurs être déterminée par un examen chimique préalable de l'eau d'alimentation.

1227. On peut reprocher à tous les moyens que nous venons d'indiquer, soit physiques, soit chimiques, de laisser les substances insolubles dans les chaudières ; l'eau devient alors boueuse, l'ébullition est gênée ; il faut vider fréquemment les chaudières pour se débarrasser de ces substances et dans le cas des chaudières à faisceau tubulaire un peu serré, comme celles des locomotives, ces boues s'accumulent dans le faisceau tubulaire, et le nettoyage en devient d'une extrême difficulté.

1228. On a aussi cherché à diminuer la quantité des dépôts qui se forment sur le fond et les parois des générateurs, en plaçant dans l'intérieur des corps sur lesquels les dépôts peuvent se former ; on a employé pour cela des fagots ; ils se couvrent en effet de dépôts, mais ils sont bientôt réduits à l'état de fragments menus par l'action prolongée de l'eau à une température élevée. Une disposition qui me

paraîtrait mériter d'être essayée avec persévérance consisterait à placer dans l'intérieur, à une certaine distance du fond, une feuille de tôle recourbée ayant la longueur de la chaudière, et formant un vase dont les bords seraient au-dessous du niveau de l'eau ; celle-ci n'y éprouverait qu'une agitation très-faible, et par suite les dépôts devraient s'y faire en plus grande quantité que dans la chaudière ; mais cette disposition ne laisserait pas d'être embarrassante et de gêner le nettoyage.

1229. Cette disposition a été imitée dans l'appareil Schmitz, dans lequel la feuille de tôle est accentuée, de façon à former un canal plus large d'un côté de la chaudière que de l'autre ; de cette façon l'eau plus échauffée dans le canal le plus étroit, prend un mouvement régulier et rapide contre la paroi de la chaudière.

1230. L'appareil de Seward et Smith Enfield consiste en un barrage transversal placé au niveau de l'eau de la chaudière ; les dépôts ramenés à la surface par l'ébullition viennent se rassembler dans une boîte évasée qui se termine par un tube débouchant hors de la chaudière et qu'on purge de temps en temps.

1231. L'appareil Duméry consiste en une boîte placée hors de la chaudière ; l'eau arrive dans cette boîte, amenée par un tube du haut de la masse d'eau de la chaudière, elle circule lentement, et les dépôts se forment à la partie inférieure de la boîte ; on purge de temps en temps ; l'eau débarrassée des dépôts retourne au bas de la chaudière. Cet appareil n'a donné de résultats qu'avec les chaudières ordinaires et avec des eaux peu chargées de sulfate ; de plus, l'expérience a montré qu'on doit le placer tout le long de la chaudière, à $0^m,50$ environ les uns des autres, pour obtenir un effet à peu près complet.

1232. M. Halwell place dans la chaudière une petite turbine commandée extérieurement et qui fait circuler l'eau de l'avant à l'arrière de la chaudière ; les dépôts entraînés par le mouvement de l'eau vont se réunir dans un cylindre vertical placé à l'arrière de la chaudière, et qu'on purge de temps en temps. Cette circulation d'eau rafraîchit, d'après l'auteur, les parois exposées au feu et augmente la durée des chaudières et la production de la vapeur.

1233. C'est encore au même ordre d'idées que se rapporte l'aérovapeur de M. Warsop, qui consiste à introduire dans la chaudière de l'air préalablement échauffé par son passage dans la boîte à fumée de la chaudière ; cet air pénètre par des trous pratiqués à 45° dans un tube qui longe le fond de la chaudière et empêche ou

détruit les incrustations en facilitant l'ébullition; on peut considérer comme étant un inconvénient réel, soit au point de vue du chauffage soit au point de vue de la production de la force motrice, l'introduction de l'air dans la vapeur.

1234. En général, tous les appareils au moyen desquels les dépôts doivent être extraits automatiquement ne marchent bien qu'avec des eaux peu chargées, exigent un soin particulier et constituent une complication des générateurs qui est loin d'être compensée par l'effet obtenu ; on ne les emploie ni en Angleterre, ni en France.

1235. *Altération des chaudières alimentées par les eaux de certaines mines.* — Ces altérations, leurs causes et les moyens de les prévenir ont été étudiés avec beaucoup de soin par M. Lechatelier, ingénieur des mines (*Annales des Mines*, 3e série, t. XX). Elles se manifestent principalement sur les chaudières alimentées par les eaux des carrières d'ardoises, et les mettent souvent hors de service en peu de temps ; elles occasionnent quelquefois des explosions par suite de l'amincissement des chaudières. A la carrière d'ardoises d'Avrillé, près d'Angers, dans un générateur qui a fait explosion en 1840, la partie inférieure des bouilleurs et la moitié supérieure de la chaudière étaient intactes; la moitié inférieure de la chaudière avait perdu en dix-huit mois les $\frac{4}{9}$ de son épaisseur; au point où aboutissait le tuyau d'alimentation, l'épaisseur de la tôle était réduite à 1 millimètre.

1236. La nature des actions chimiques qui se produisent se déduit facilement de la composition des eaux d'alimentation, de celle des eaux concentrées par leur séjour dans la chaudière et de celle des dépôts pulvérulents et des encroûtements. Les eaux extraites des mines et carrières dans lesquelles les roches renferment des pyrites qui se décomposent au contact de l'air, en général, ne sont point acides, mais elles renferment constamment

Des sulfates d'alumine;
— de peroxyde de fer;
— de protoxyde de fer;
— de nickel et de cobalt;
— de chaux;
Des sulfates de magnésie;
— de potasse et de soude;
Des chlorures alcalins;
De la silice gélatineuse.

1237. Il résulte des nombreuses analyses faites par M. Lechatelier que les eaux concentrées dans les chaudières ne renferment plus ni alumine, ni peroxyde de fer ; qu'elles sont chargées, au contraire, de sulfate de protoxyde de fer qui, dans certains cas, n'exis-

tait pas dans les eaux d'alimentation. Les dépôts qui se forment dans la chaudière contiennent du peroxyde de fer et de l'alumine à l'état d'oxyde et peut-être de sulfate. Il résulte évidemment de là que l'action corrosive provient des sulfates de peroxydes de fer et d'alumine; ces sels, à la température à laquelle l'eau est soumise et en présence du fer, sont décomposés, le peroxyde de fer et l'alumine sont précipités, et l'acide sulfurique, à l'état naissant, forme avec le fer un sulfate de protoxyde en dégageant de l'hydrogène. Le sulfate de protoxyde de fer peut ensuite passer à l'état de peroxyde au moyen de l'oxygène de l'air en dissolution dans l'eau, et agir de nouveau sur le fer.

1238. Pour éviter dans ce cas les détériorations des chaudières, on peut employer différents moyens. Le premier consisterait à se servir d'eau distillée, en produisant la condensation de la vapeur des machines par transmission de chaleur à travers des surfaces métalliques et non par contact immédiat de l'eau froide, comme on le fait ordinairement; mais ce mode de condensation, qui a été essayé, n'a pas été adopté pour les machines fixes, locomotives ou locomobiles, quoiqu'il le soit dans la marine.

1239. On pourrait employer des chaudières en cuivre; mais il faudrait que les eaux ne continssent que peu ou point de sulfate de chaux, parce que ce sel forme des dépôts adhérents, et que les bouilleurs de cuivre s'altéreraient très-rapidement; de plus, ces chaudières coûtent à peu près trois fois plus que les chaudières de tôle, et un défaut d'homogénéité pourrait en déterminer la destruction rapide, comme cela s'observe pour certains cuivres employés dans la construction des navires; enfin, il n'est pas démontré que les eaux corrosives seraient sans action sur le cuivre.

1240. Le blanc d'Espagne ayant la propriété de décomposer les sulfates de peroxyde de fer et d'alumine à la température de l'ébullition, on pourrait mettre dans la chaudière une quantité de cette matière, suffisante pour décomposer les deux sels dont il est question, pendant la durée du travail comprise entre deux nettoyages. La craie en excès n'augmenterait pas les incrustations; on pourrait d'ailleurs, par quelques essais, déterminer très-approximativement la quantité de craie qu'on doit employer.

1241. On a essayé d'employer la chaux vive; mais cette matière présente un grave inconvénient. Comme elle est soluble dans l'eau et en petite quantité, elle est très-propre à former des encroûtements; elle donne, en outre, un dépôt beaucoup plus considérable que la

craie; car elle précipite tous les oxydes métalliques et la magnésie, qui paraît être elle-même une matière incrustante; enfin, elle accompagne l'eau qui est entraînée par la vapeur, et saponifie les graisses de la machine. On pourrait mettre un excès de chaux dans les bassins de dépôt où l'eau séjourne à la sortie de la mine, et alimenter les chaudières avec ces eaux séparées des dépôts qui se seraient formés; mais alors ces eaux seraient saturées de chaux et de sulfate de chaux et se trouveraient dans les circonstances les plus favorables à la formation des incrustations.

1242. Il paraît que, dans quelques mines, on emploie le carbonate de soude pour épurer les eaux; ce moyen est infaillible, mais il est très-cher. A Birmingham, on a employé les eaux ammoniacales provenant de la fabrication du gaz de l'éclairage.

1243. On pourrait préserver les chaudières de fer de l'action des eaux corrosives, en plaçant dans l'intérieur un panier de fer rempli de rognures de zinc, suspendu au-dessous du niveau de l'eau; toute l'action se porterait sur le zinc. Ce métal, même sans former de pile galvanique avec le fer, et seulement à la température de 100°, décompose complétement les sulfates de peroxyde de fer et d'alumine; mais, comme il décompose aussi facilement l'eau à 100°, une partie serait employée en pure perte; on pourrait craindre, en outre, que les dépôts qui s'accumuleraient à sa surface ne suspendissent son action.

M. Lesueur a observé les effets du zinc au point de vue de la désincrustation avec les eaux ordinaires (*Annales de chimie et de physique*, 1875.) Le navire l'*Albert* construit par M. Normand était pourvu de 3 chaudières, l'une à basse pression alimentée à l'eau de mer, l'autre, marchant à 7 atmosphères et alimentée au moyen de l'eau fournie par les condenseurs à surface; après quelques années de service elles furent réparées dans les ateliers de M. Nillus; le générateur alimenté directement était complétement oxydé, les 2 autres étaient en parfait état; les entretoises des condenseurs, exécutées en lames de laiton, étaient réduites à l'état de cuivre spongieux; le zinc avait totalement disparu. Les plaques de laiton furent renouvelées à diverses reprises et les mêmes phénomèdes se reproduisirent; le constructeur en conclut qu'il fallait un aliment à l'oxydation et que cet aliment était le zinc. M. Lesueur frappé de ces faits en fit part à M. Raynely d'Angers qui introduisit du zinc dans sa chaudière alimentée au moyen des eaux de la Loire, après un certain temps, le zinc avait complétement disparu, le

tartre était en feuilles minces et séparées au fond du bouilleur, on put l'enlever au moyen d'un simple lavage ; M. Lesueur estime à 20 kilogrammes de zinc la dépense pour une chaudière de 20 chevaux pendant 3 mois.

1244. On pourrait faire agir le fer en rognures sur les eaux corrosives, en dehors des chaudières, dans des bassines en cuivre chauffées par la chaleur perdue du fourneau ; mais il faudrait prolonger l'action pendant longtemps, et éviter avec soin l'introduction de l'air dans la chaudière.

Enfin on pourrait faire agir la craie sur les eaux d'alimentation dans les mêmes circonstances ; ce dernier procédé serait certainement très-efficace et préférable aux autres.

1245. Dans la mine d'anthracite de Bazonges (Mayenne), les eaux sont tellement corrosives qu'une chaudière de tôle a été détruite en trois mois. Elle a été remplacée par une chaudière de cuivre qui ne paraît pas avoir été altérée d'une manière sensible. Toutes les fois qu'on la nettoie, on y met 20 kilogrammes de ferraille, et on enduit la surface intérieure d'une couche de graisse formée de cinq sixièmes de suif et d'un sixième de mine de plomb. On emploie chaque fois 15 kilogrammes pour les deux chaudières qui sont chacune de la force de 8 chevaux.

1246. Sur le chemin de fer de l'Est belge on alimentait les locomotives au moyen des eaux provenant du charbonnage de Gilly et de Charleroy. A 6 ou 7 atmosphères, l'eau et la vapeur se mêlaient et sortaient à l'état de brouillard par les tuyaux de décharge ; après 2 ou 3 kilomètres, on était obligé de jeter les feux des locomotives. Il n'en était pas de même dans les générateurs fixes, où la pression ne dépassait pas 5 atmosphères. Cette eau, analysée par M. Stoclet, était d'une couleur brune paraissant due à une substance en suspension et très-ténue qui se dépose en noir sur le filtre.

L'eau mêlée à l'éther a abandonné à ce liquide une substance jaunâtre, à odeur empyreumatique qu'on obtient par évaporation ; cette substance peut être obtenue directement du lavage de la houille à l'éther ; elle existe dans la matière en suspension, car l'eau filtrée ne la fournit pas. Cette substance étant desséchée devient solide à 100° et se liquéfie et se boursoufle à une température supérieure. C'est-elle qui fournit l'adhérence du dépôt en devenant visqueuse à la température de l'eau des locomotives, tandis que dans les machines fixes la température plus basse de l'eau n'amène pas ce résultat. Le carbonate de potasse ne paraît pas modifier le résul-

tat. Le seul mode de purification recommandé par M. Soclet est la filtration ou l'emploi de bassins de dépôt comme cela se fait à la Société des charbonnages de Lodelinsart (*Revue universelle*, tome XIX).

1247. *Altération des chaudières alimentées avec de l'eau chargée de matières grasses.* — Les eaux chargées de matières grasses paraissent produire dans les chaudières des détériorations graves et des accidents à la marche que mettront en évidence les faits suivants empruntés à une communication faite par M. Farcot à la Société des ingénieurs civils (1867).

Un générateur établi à Pont-Remy, en 1866, par M. Parot avait manifesté des fuites nombreuses; des réparations furent faites et suivies de nouvelles fuites qu'on fit disparaître pendant une certaine période en ajoutant du carbonate de soude dans la chaudière; on changea l'eau d'alimentation, et l'on n'observa plus les mêmes accidents.

Dans une forge de la Haute-Silésie, six chaudières de $1^m,28$ à bouilleur et carneaux intérieurs étaient alimentées avec de l'eau empruntée à une houillère et puisée dans un réservoir où se rendaient les purges des cylindres et l'eau condensée de la vapeur d'échappement; au bout de très-peu de temps on constata des fuites; on dut suspendre le travail; on trouva dans les chaudières une poudre gris clair, onctueuse lorsqu'elle était humide, et qui sèche ne se mouillait pas. A l'intérieur les joints des chaudières montraient des déchirures sur une étendue de 15 à 27 rivets; on constata la trace de forts coups de feu; il y avait des feuilles déjetées, déchirées. On répara les chaudières et on employa simultanément d'autres chaudières qui, placées dans la mine, étaient en service depuis plusieurs années sans avoir subi d'avaries. Les mêmes phénomènes se reproduisirent; par intervalle se produisait un soulèvement du corps de chaudière de $0^m,05$ environ; aucune modification apportée au foyer ou à la construction du fourneau ne put améliorer la situation. Il se produit même, à un certain moment, un bruit sourd dans une chaudière, suivi bientôt d'une détonation accompagnée d'un soubresaut violent. On supposa que l'eau ne mouillait plus les parois; déjà MM. Bolley et Schmidt avaient à Vienne observé le cas de destruction des chaudières alimentées par une eau chargée de matières grasses; on rechercha la matière grasse à l'aide d'une analyse, et on la trouva; on put d'abord remédier aux inconvénients en ajoutant un peu de soude; on supprima ensuite la matière grasse, et les accidents ne se produisirent plus.

1248. *Altération des chaudières de bateaux à vapeur alimentées par l'eau de mer.* — Dans les chaudières de bateaux à vapeur qui naviguent sur mer, il se forme souvent des incrustations d'une grande épaisseur, et toujours bien avant que les eaux aient atteint leur point de saturation de sel marin. Pour éviter de trop grands dépôts, on est obligé d'extraire de l'eau des chaudières, quand les eaux sont arrivées à un certain degré de concentration, et pendant longtemps cette opération était faite par les chauffeurs sans règle précise pour déterminer les époques auxquelles il convenait de faire écouler de l'eau, et le temps pendant lequel le robinet de décharge devait rester ouvert. M. Seaward a proposé, pour reconnaître à chaque instant le degré de saturation de l'eau, de disposer un tube de verre comme ceux qui sont employés pour reconnaître le niveau de l'eau, en communication par ses deux extrémités avec la chaudière, en deux points situés au-dessous du niveau habituel; le refroidissement de l'eau renfermée dans le tube produirait une circulation assez rapide pour que l'on pût regarder à chaque instant l'eau du tube comme ayant une densité peu différente de celle de l'eau de la chaudière. Le tube renfermerait des boules de différentes densités comprises entre celles de l'eau de mer bouillante et celle de l'eau de mer bouillante saturée de sel; le nombre des boules qui se trouveraient à la partie supérieure du tube indiquerait le degré de saturation de l'eau. Un densimètre placé dans le même tube me paraîtrait préférable à l'emploi des boules. En effet, ces boules sont sujettes à se couvrir de sel et à changer ainsi de densité; de plus elles se collent parfois les unes aux autres; aussi cet appareil n'a-t-il pas été adopté.

Le *salinomètre* pratique ne peut guère être qu'un pèse-liqueurs ordinaire. Dans le cas où l'instrument serait à demeure, il faudrait le nettoyer souvent par un lavage.

1249. Malgré tous les soins qu'on peut apporter à la conservation des chaudières, elles s'altèrent rapidement; car, dans les paquebots naviguant sur mer, la durée moyenne des chaudières n'est que de quatre années, et elles ne fonctionnent à peu près que le quart du temps. Cette altération résulte d'abord de l'oxydation du métal dans le voisinage du foyer, de l'adhérence des dépôts qui s'attachent aux parois, et enfin d'une action chimique de l'eau de mer sur le métal. Cette dernière cause d'altération a été indiquée par M. Faraday, comme cela résulte de la note suivante, extraite de l'ouvrage de M. Marestier sur les bateaux à vapeur d'Amérique.

1252. « M. Faraday, qui a analysé l'eau de mer dans la vue de con-

naître son action sur les chaudières, a trouvé que l'eau de mer, qui bouillait à environ 101° et dont la densité était égale à 1,0272, contenait 32^{k},298 de sels par mètre cube, savoir :

« 1^{k},014 de sulfate de chaux, qui commence à se précipiter à la température de 102°, quand la quantité d'eau est réduite à 299 litres ;

« 25^{k},785 de chlorure de sodium, qui commence à cristalliser à 100°, quand l'eau est réduite à 102 litres ;

« 2^{k},214 de sulfate de magnésie ;

« 3^{k},285 de chlorure de magnésium.

« Ce dernier sel est celui qui réagit le plus sur les chaudières ; il commence à se décomposer à la température de 100°, lorsque la liqueur est réduite à 35^{lit},5. Les 3^{k},285 contenus dans l'eau de mer sont composés de 1^{k},145 de magnésie et 1^{k},14 d'acide. Si tout l'acide pouvait être séparé, il dissoudrait 1^{k},6 de fer et 3^{k},7 de cuivre, ce qui occasionnerait bientôt la destruction des chaudières. L'acide peut être absorbé par l'addition de 1^{k},64 de chaux vive ou 2^{k},78 de potasse, ou 4^{k},1 de carbonate de potasse. Le dépôt de magnésie pèse 1^{k},145, et celui de carbonate de magnésie 2^{k},43. »

1251. M. Lechatelier a reconnu l'exactitude de l'opinion de M. Faraday, en constatant la présence de la magnésie libre dans les incrustations des chaudières des bateaux à vapeur faisant le trajet du Havre à Hambourg. Cet ingénieur pense que la chaux vive, qui serait d'un usage très-économique, aurait l'inconvénient d'engorger les tuyaux et probablement d'augmenter les incrustations ; le carbonate de chaux serait sans efficacité. La soude et la potasse caustiques seraient d'un usage dispendieux ; car ils devraient décomposer tout le chlorure de magnésium, qui n'agit qu'en partie, et peut-être aussi le sulfate de magnésie, qui peut échanger son acide avec les autres chlorures en dissolution et concourir à l'action corrosive. Quant au carbonate de potasse, au lieu d'en consommer 4^{k},1, comme l'indique M. Faraday, pour décomposer tout le chlorure de magnésium, il faudrait en consommer 5^{k},1, car il précipiterait toute la chaux avant de précipiter la magnésie ; mais il offrirait l'avantage de détruire tout le sulfate de chaux et de carbonater la magnésie ; il ne se ferait plus qu'un dépôt de carbonates insolubles, gélatineux et probablement non incrustants. Le meilleur procédé paraît être celui de Van-Beck ; il consiste à employer le zinc métallique. Il faudrait l'isoler des points où la chaudière est exposée à rougir pour prévenir l'accumulation sur ces parties des dépôts salins, dont il provoquerait sans doute la formation. Il faudrait, en outre, l'introduire en masses présentant une petite surface pour éviter une

consommation trop grande sous l'action de l'eau salée, qui l'oxyderait très-rapidement à la température de l'ébullition. Les chaudières de cuivre, si elles sont attaquées, pourraient être préservées très-simplement et très-économiquement par l'emploi de boîtes pleines de ferrailles, qu'on suspendrait çà et là, en ayant soin de les mettre, en quelques points, en communication avec le cuivre métallique. » (*Annales des Mines*, 3me *série*, t. XX.)

Mais ces différents moyens préservateurs sont inutiles, parce que, dans les conditions de la pratique habituelle, les eaux sont extraites des chaudières marines, comme nous le verrons plus loin, à un degré de concentration bien inférieur à celui qui est nécessaire pour que l'action du chlorure de magnésium se produise.

1252. Dans ce qui précède, j'ai indiqué les différents procédés qui ont été proposés pour éviter l'adhérence des dépôts ou les actions corrosives de certaines eaux d'alimentation. Nous allons maintenant étudier la question directement.

1253. *Examen de la question à résoudre.* — Les eaux d'alimentation des chaudières, à part quelques cas particuliers assez rares, sont des eaux douces ou de l'eau de mer. Le tableau suivant donne, d'après les analyses de MM. Boutron et Henry, la composition des différentes eaux qu'on emploie à Paris et dans les environs.

SUBSTANCES CONTENUES DANS UN LITRE D'EAU.	EAU DE SEINE.				EAU d'Arcueil.	PUITS de Grenelle.	CANAL de l'Ourcq.
	PONT d'Ivry.	PONT Notre-Dame.	POMPE du Gros-Caillou.	POMPE de Chaillot			
	litre.	l.	l.	l.	l.		
Azote et oxygène.....	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004	»	»
Acide carbonique libre....	0,013	0,014	0,014	0,013	0,070	»	»
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Bicarbonate de chaux.....	0,132	0,174	0,229	0,230	0,158	0,0292	0,158
— de magnésie. .	0,060	0,062	0,075	0,076	0,060	0,0092	0,075
Sulfate de chaux anhydre..	0,020	0,039	0,040	0,040	0,138		0,080
— de magnésie anhyd.	0,010	0,017	0,027	0,030	0,072	0,0320	0,095
— de soude anhydre. .							
Chlorure de calcium.....	0,010	0,025	0,032	0,032	0,081	0,0579	0,113
— de magnésium....							
— de sodium.....							
Sels de potasse.....	traces.	traces.	traces.	traces.	traces.	0,0100	
Azotate alcalin.....	—	—	—	—	—		traces.
Silice, alumine, oxyde de fer.	0,008	0,014	0,023	0,024	0,018	0,0120	0,069
Matière organique azotée...	traces.	traces.	traces.	traces.	traces.	traces.	traces.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Poids des substances...	0,240	0,331	0,426	0,432	0,527	0,1494	0,590

1254. Il résulte de ce tableau que les résidus de l'évaporation de ces eaux sont principalement formés de sulfate de chaux et de carbonate de chaux, de sulfate et de carbonate de magnésie, et c'est ce qui a été confirmé par l'analyse des dépôts et des concrétions qui se forment dans les générateurs alimentés par des eaux douces.

1255. Quant aux dépôts formés dans les générateurs alimentés par l'eau de mer, voici le résultat des expériences de M. Cousté. Toutes les surfaces intérieures des chaudières qui sont baignées par l'eau sont recouvertes d'une couche blanchâtre, à surface mamelonnée, dure comme du marbre, à cassure en partie amorphe et en partie cristalline. L'épaisseur de cette couche varie beaucoup; elle est de 2 millimètres environ sur la caisse du foyer, et de 10 à 15 millimètres sur les points de la surface de chauffe où la chaleur est peu intense. Au fond des chaudières, on trouve une quantité considérable d'écailles, tantôt minces et isolées, tantôt agglomérées et formant des concrétions quelquefois grosses comme des moellons. Si on examine la cassure d'une croûte un peu épaisse, encore adhérente à la surface de la chaudière, on remarque de petits filets jaunâtres, de consistance terreuse et moins dure, suivant lesquels la concrétion se clive facilement. La face de contact avec le métal est noircie par une couche d'oxyde; en partant de cette face, on trouve une série de couches amorphes, blanches, divisées par les filets jaunâtres dont je viens de parler; et, à la face opposée, il y a généralement une couche d'apparence cristalline. Si l'on examine de même une des écailles un peu épaisses qu'on trouve détachées au fond des chaudières, on voit qu'elle est souvent formée d'un noyau de couches amorphes, complétement enveloppé par une couche cristalline plus ou moins épaisse. Ces dépôts sont composés de 0,81 à 0,85 de sulfate de chaux, de 0,022 à 0,032 de carbonate de magnésie, de 0,06 à 0,10 de magnésie libre, d'un peu de fer, d'alumine et d'eau. Ainsi les dépôts concrétionnés et vaseux ne renferment point de carbonate de chaux. Les lames terreuses proviennent des dépôts, pendant les temps d'arrêt, des matières en suspension; la moindre épaisseur des concrétions sur les surfaces de la boîte à feu provient du mouvement de l'eau occasionné par la grande quantité de vapeur qui s'y produit.

1256. Dans les eaux douces, le carbonate de chaux est tenu en dissolution par un excès d'acide carbonique, et s'y trouve à l'état de bicarbonate; cet excès d'acide carbonique se dégage par l'action de la chaleur, et la plus grande partie du carbonate se précipite; en

outre, la solubilité du carbonate de chaux diminue rapidement à mesure que la température s'élève. A la température ordinaire, d'après M. Buchetz, la quantité de carbonate de chaux qui peut être dissoute dans un volume d'eau représenté par l'unité est comprise entre 1 : 24000 et 1 : 16000, ou entre 0,00004 et 0,000062 ; ainsi la quantité de sel qu'un mètre cube d'eau peut dissoudre varie de $0^k,04$ à $0^k,062$. Cette quantité devient complétement nulle à une température comprise entre 140° et 150°, d'après M. Cousté.

1257. La solubilité du sulfate de chaux éprouve aussi de grandes variations avec la température. D'après M. Regnault, la solubilité du sulfate de chaux a son maximum à 35° ; 100 parties d'eau en dissolvent alors 0,254, et seulement 0,217 à 100°. A 12°, le poids de sulfate de chaux que peut dissoudre un mètre cube d'eau est égal à $2^k,33$. D'après les expériences de M. Cousté, la solubilité du sulfate de chaux est complétement nulle, comme celle du carbonate de chaux, à une température comprise entre 140° et 150°.

Ainsi, quand on produit de la vapeur sous une pression de 4 ou 5 atmosphères, avec des eaux douces ou de l'eau de mer, tous les sels calcaires devraient se déposer par le seul effet de l'élévation de la température.

1258. Si les dépôts résultaient uniquement de la concentration des eaux, qui les amènerait progressivement au point de saturation, on pourrait empêcher complétement leur formation, en enlevant d'une manière continue un certain volume d'eau chaude, de manière que la quantité de sel extrait égalât celle qui est introduite dans les eaux d'alimentation : par exemple, si l'eau d'alimentation renfermait 0,01 d'un certain sel, et si l'eau saturée en contenait 0,03, il est évident qu'en évacuant un volume d'eau chaude égal au tiers de celui qui est fourni par l'alimentation, et en supposant l'eau de la chaudière saturée et homogène, il ne se produirait point de dépôt, et avec une plus grande extraction on se maintiendrait loin de la saturation.

1259. Il semble qu'une extraction partielle pour les générateurs à haute pression, à eau douce et à eau de mer, doive être sans efficacité, puisque les dépôts se forment par le seul effet de l'accroissement de la température de l'eau, et que, pour les générateurs à basse pression, cette extraction ne diminue les dépôts qu'autant que, par l'élévation de température, les eaux ne sont pas amenées à saturation. Mais il n'en est pas ainsi, parce que les sels précipités restent toujours un certain temps en suspension, et qu'en enlevant

des eaux troubles on produit évidemment le même effet que si les matières en suspension étaient dissoutes. C'est d'ailleurs ce qui a été parfaitement confirmé par l'expérience sur les générateurs des bateaux à vapeur qui naviguent sur mer, quelle que soit la pression à laquelle la vapeur est produite.

1260. *Épuration des eaux d'alimentation en les échauffant.* — En échauffant les eaux d'alimentation à 100°, on précipiterait le carbonate de chaux tenu en dissolution par un excès d'acide carbonique ; en les chauffant à 140 ou 150°, on précipiterait tous les sels de chaux. Dans ce dernier cas, si le vase réchauffeur était placé à la suite de la chaudière et si la vitesse de l'eau y était très-petite, tous les sels de chaux précipités resteraient dans le vase réchauffeur, et il n'arriverait dans la chaudière qu'une petite partie des dépôts demeurée en suspension. A la vérité, le vase réchauffeur s'incrusterait ; mais ces incrustations ne présenteraient pas les inconvénients de celles de la chaudière, parce que les surfaces incrustées ne seraient échauffées que par l'air brûlé déjà refroidi. On pourrait facilement nettoyer ces bouilleurs-réchauffeurs en plaçant dans chacun d'eux un système de feuille de tôle mince, horizontale, sur lesquelles les dépôts se formeraient en très-grande partie et qu'il serait facile d'enlever pour les nettoyer. Mais dans la pratique cette précipitation complète n'a jamais lieu, et ce moyen ne peut produire d'effet un peu considérable que dans le cas d'eaux très-chargées de substances étrangères.

1261. C'est à ce même mode d'épuration que se rapporte l'hydratmo-purificateur de M. Wagner, formé d'un réservoir parallélipipédique dans lequel se trouvent disposés des diaphragmes en forme de caisses peu élevées dont un des côtés est enlevé ; chaque caisse est de ce côté en retrait sur celle qui est placée au-dessous ; l'eau d'alimentation est fournie à la partie supérieure et descend en coulant successivement sur chaque diaphragme, après quoi elle arrive dans une bâche inférieure ; en même temps la vapeur de la chaudière remplit le réservoir et porte l'eau à la température de 140 à 150° ; les dépôts se forment sur les diaphragmes et s'achèvent dans la bâche. De grandes portes clavetées, placées sur l'une des faces du réservoir, permettent de nettoyer les diaphragmes ; un trou d'homme remplit le même office pour la bâche.

Un grand nombre d'autres dispositions, basées sur le même principe, ont été proposées ; ces appareils sont en général encombrants

de plus, la purification, comme nous l'avons dit plus haut, n'est pas complète : la pratique ne les a guère adoptés.

1262. *Épuration des eaux d'alimentation par une action chimique.* — Si les eaux ne contenaient que du carbonate de chaux tenu en dissolution par un excès d'acide carbonique, on pourrait le précipiter au moyen de l'eau de chaux, mais en ayant soin de ne pas employer ce réactif en excès, car l'eau dissout à peu près un millième de son poids de chaux, et celle-ci produit des incrustations très-dures. L'opération pourrait se faire au moyen de deux réservoirs : dans l'un, qui renfermerait un agitateur mis en mouvement par une manivelle, on opérerait la précipitation ; le second, qui recevrait les eaux du premier éclaircies par le repos, renfermerait le tuyau d'aspiration de la pompe alimentaire. La capacité de chacun des réservoirs devrait être égale à la consommation d'eau pendant le temps nécessaire à l'éclaircissement des eaux, durée qui devrait être déterminée à l'avance. Comme la quantité de sel renfermée dans les eaux varie peu, on pourrait simplifier l'opération en introduisant immédiatement dans le réservoir de précipitation un volume d'eau de chaux qui aurait été déterminé par l'expérience.

1263. Si les eaux d'alimentation renferment du carbonate de chaux et du sulfate de chaux, ce qui a lieu souvent pour les eaux douces, on pourrait précipiter d'abord le carbonate par la chaux, et ensuite le sulfate par une dissolution de carbonate de soude (sel de soude du commerce). Les quantités de ces deux matières, en volume pour l'eau de chaux et en poids pour le sel de soude, pourraient être déterminées par une seule expérience. Les eaux éclaircies ne renfermeraient, à la suite de l'opération, que du sulfate de soude à la place des sels de chaux. On pourrait simplifier l'opération en précipitant les deux sels de chaux par le sel de soude ; mais l'opération coûterait plus cher, et la liqueur éclaircie renfermerait une certaine quantité de carbonate de soude.

1264. Pour les eaux douces, la précipitation préalable des sels de chaux n'exigerait qu'une très-faible dépense. Prenons, par exemple, une machine de 25 chevaux, alimentée par les eaux de Belleville, qui renferment $1^k,65$ de sels par mètre cube. La quantité d'eau vaporisée par cheval et par heure est environ de 24 kilogrammes, soit 600 kilogrammes pour la machine ; la dépense de sel de soude sera à peu près égale au poids des sels, et par conséquent de $600.1,65 : 1,000 = 0^k,99$, ce qui, à raison de 55 francs les 100 kilogrammes, occasionnerait une dépense de $0,99.0,55 = 0^f,54$, et

pour 10 heures 5f,40, à peu près 0,10 du prix du combustible consommé. Pour les eaux de Seine, le prix de revient de la précipitation des sels de chaux serait dix fois plus petit.

1265. Lorsqu'on emploie du sel de soude pour précipiter le carbonate et le sulfate de chaux, il reste dans les eaux, comme nous l'avons dit, une certaine quantité de soude plus ou moins carbonatée; cet état alcalin des eaux d'alimentation ne peut avoir aucun résultat fâcheux, pourvu que le liquide de la chaudière soit renouvelé assez fréquemment pour que les sels ne s'y trouvent pas en très-grande quantité. Cependant il serait très-utile d'employer les dispositions indiquées (1201, 1202), pour que la vapeur, en se dégageant, entraînât le moins d'eau possible, à cause de l'action que pourraient avoir les eaux entraînées sur les conduits de vapeur et les organes de la machine.

1266. C'est surtout pour les locomotives, les locomobiles, et en général les chaudières à foyer intérieur, qu'il serait important de n'employer que des eaux dont on aurait préalablement précipité les sels de chaux, à cause de la difficulté qu'on rencontre dans l'enlèvement des dépôts adhérents. M. Polonceau a pris, il y a plusieurs années, un brevet pour enlever les incrustations des locomotives par l'emploi successif des carbonates alcalins et de l'acide chlorhydrique. Il introduit le carbonate de soude en quantité suffisante dans la chaudière, et maintient l'eau en ébullition pendant douze à quinze heures; le sulfate de chaux est transformé en carbonate de chaux, et on introduit alors dans la chaudière de l'acide chlorhydrique qui dissout le carbonate. M. Polonceau estime à 100 francs la dépense de main-d'œuvre et de matière pour une locomotive, à 25 ou 30 kilogrammes la quantité de carbonate de soude, et à 100 ou 120 kilogrammes le poids de l'acide chlorhydrique. Voilà évidemment une opération très-efficace, mais qui est fort compliquée, dispendieuse, et qui pourrait à la fin altérer la chaudière par l'action de l'acide; d'un autre côté, quand on laisse les incrustations se former, on ne peut les enlever que par le démontage des tubes ou par l'action chimique que nous venons d'indiquer. Ces deux opérations ont toutes deux de graves inconvénients, qu'on éviterait en employant des eaux préalablement privées de sels calcaires. J'ajouterai que, dans le *Guide du mécanicien constructeur et conducteur de machines locomotives* de MM. L. Lechatelier, E. Flachat, J. Petiet et C. Polonceau, on estime à 0f,10 par kilomètre parcouru le surcroît total de dépenses qu'occasionne l'usage d'une eau impure, ce qui correspond à 2,000 francs par ma-

chine et par an, à raison de 20,000 kilomètres. En admettant une consommation moyenne de 9 kilogrammes de coke par kilomètre et une production de 6 kilogrammes de vapeur par kilogramme de coke, la dépense serait de $0^{f},10$ pour 54 kilogrammes d'eau vaporisée, et de $1^{f},85$ par mètre cube d'eau, tandis qu'avec des eaux qui seraient complétement saturées de sulfate de chaux, ce qui ne se rencontre presque jamais, même dans les pays abondants en terrains gypseux, le poids du sulfate de chaux serait de $2^{k},33$ et n'exigerait, pour sa précipitation, qu'un poids peu différent de carbonate de soude, qui coûterait $1^{f},28$. Mais, dans un grand nombre de localités, les eaux douces ne contiennent que du carbonate de chaux et de très-faibles quantités de sulfate, et par conséquent la dépense moyenne d'épuration des eaux serait très-faible en comparaison du chiffre moyen qui représente l'enlèvement des dépôts. La dépense serait encore diminuée par une autre raison : les eaux livrées aux chaudières étant claires, il ne serait nécessaire de les vider que quand elles seraient trop chargées de sels solubles, et non, très-fréquemment, pour enlever les eaux devenues trop boueuses par les dépôts en suspension. Ainsi, il me paraîtrait avantageux sous tous les rapports, et surtout pour la conservation des générateurs, qui sont d'un prix si élevé, de purifier les eaux d'alimentation ; cette opération devrait s'exécuter pour tous les réservoirs placés sur les lignes de chemins de fer.

1267. Ce procédé d'épuration présente certains avantages ; il a été mis en pratique sur le chemin de fer du Nord ; mais il ne réussit qu'imparfaitement ; en effet, nous avons vu que les eaux contiennent généralement du sulfate et du bicarbonate de magnésie, sels qui ne sont que très-imparfaitement précipités par le carbonate de soude et qui forment des incrustations très-résistantes ; d'autre part, quand la quantité d'eau qu'il s'agit de purifier devient un peu considérable, comme le dépôt se fait avec une grande lenteur, il faut avoir recours à des bassins d'une très-grande surface. Aussi sur plusieurs lignes de chemin de fer, est-on allé chercher des eaux de rivière souvent très-loin pour alimenter les réservoirs, en plaçant près du cours d'eau une pompe à feu, qui refoule l'eau dans une canalisation menant aux réservoirs.

D'ailleurs, l'épuration préalable obtenue comme nous l'avons dit plus haut ne supprime pas les dépôts d'une façon absolue, et les encrassements se produisent encore surtout dans les chaudières tubulaires. Dans le cas où les tubes sont mobiles comme pour les tubes Langlois ou Berendorff, on peut, pour les nettoyer, enlever ces

tubes et les soumettre à un lavage à l'acide chlorhydrique, comme on l'a proposé ; mais ce moyen présente des inconvénients en ce que l'acide chlorhydrique attaque très-vivement le fer et qu'il attaque aussi le cuivre ; on peut nettoyer ces tubes en les faisant frotter les uns sur les autres et en interposant entre les surfaces frottantes de l'eau et du sable. Mais ces procédés sont peu suivis. Dans les chemins de fer, le procédé de nettoyage des chaudières incrustées paraît être le démontage de la chaudière et le coupage des tubes, sans qu'on ait cru devoir songer à rechercher ou à adopter un type de chaudière qui ne force pas à recourir à cette extrémité.

1268. Ce procédé d'épuration des eaux ne pourrait s'appliquer à l'eau de mer, parce qu'il coûterait trop cher. Les sels qui seraient précipités par le sel de soude exigeraient au moins 6 kilogrammes de ce sel par mètre cube, et en admettant 30 kilogrammes de vapeur par cheval pour ce genre de machine et une extraction d'un tiers de l'alimentation, la quantité d'eau à épurer serait par cheval et par heure de 40 kilogrammes, ce qui correspond à $\frac{6.40}{1000} = 0^k,24$ de sel de soude, dont le prix, à raison de 55 francs les 100 kilogrammes, serait de $0^f,13$, à peu près la moitié de celui du combustible. En outre, les mouvements du navire ne permettraient pas au dépôt de s'effectuer complétement; les appareils seraient trop coûteux et gênants à cause de leur poids et de la place qu'ils occuperaient.

1269. Quant aux eaux de certaines mines, qui agissent si énergiquement sur les chaudières, il n'y a pas à hésiter ; il faut les purifier par du carbonate de soude, et si la quantité d'eau nécessaire est considérable, il pourra être plus économique d'amener à la mine, à l'aide d'une pompe à feu, l'eau d'une rivière ou d'un ruisseau qui ne serait pas trop éloigné.

1270. D'après une observation de M. Max Triepcke (*Société d'encouragement*, 1870), les eaux troubles font souvent perdre aux chaudières la faculté de rester étanches ; l'addition d'un dix-millième de soude ferait disparaître cet inconvénient, qui reparaîtrait à un très-haut point quand la soude serait en excès. Il y a donc une proportion de soude convenable à employer ; elle dépend de la proportion des substances insolubles que contient l'eau d'alimentation.

1271. Les différents procédés chimiques qu'on peut employer pour purifier les eaux avant leur entrée dans la chaudière ne peuvent être absolument efficaces qu'à la condition qu'on connaisse la composition de l'eau qu'il s'agit de purifier. L'analyse chimique

d'une eau donnée est toujours une opération longue et délicate. On doit à MM. Boutron et Boudet une méthode de dosage *volumétrique* des substances dissoutes dans l'eau qui est devenue d'un emploi régulier.

Cette méthode est fondée sur ce fait, qu'une dissolution alcoolique de savon précipite les sels de chaux et de magnésie, et ne commence à donner de la mousse par l'agitation de l'eau dans laquelle on l'a versée que quand ces sels ont été complétement précipités.

La liqueur d'essai est obtenue en faisant dissoudre 100 grammes de savon blanc de Marseille dans 1,600 grammes d'alcool à 90° centésimaux ; on fait bouillir, on filtre et on ajoute 1,000 grammes d'eau distillée ; la dissolution ainsi préparée est introduite dans une burette qui est graduée de telle façon qu'une capacité de deux centimètres cubes et quatre dixièmes, prise à partir d'un trait circulaire, tracé au sommet de la burette, se trouve divisée en 23 parties égales ; la division se prolonge au-dessous.

Chaque division représente un degré *hydrotimétrique*, mais le zéro n'est marqué qu'à la première division au-dessous du trait circulaire ; cela tient à ce que 40 centimètres cubes d'eau distillée ne fournissent de mousse persistante que par l'addition d'une quantité de liqueur d'épreuve égale au volume d'une division, et qu'on fait les essais sur 40 centimètres cubes de liquide.

La liqueur d'épreuve doit être telle, que 23 divisions de la burette en soient nécessaires pour amener la mousse persistante dans 40 centimètres cubes d'une dissolution de chlorure de calcium renfermant par litre $0^{gr},25$ de ce sel fondu ; c'est-à-dire que la dissolution titrée de chlorure de calcium doit marquer 22° effectifs. Si la dissolution préparée comme nous l'avons dit plus haut marquait un titre plus bas, on y ajouterait un peu de savon ; si le titre était plus élevé, on l'étendrait d'eau de façon à l'amener au titre indiqué.

L'expérience a fait voir que les indications de l'hydrotimètre ne sont exactes qu'autant que l'eau sur laquelle on opère ne marque pas plus de 25 à 30° ; dans ces conditions 20 ou 25 centimètres cubes de cette eau à laquelle on avait ajouté une division de la liqueur d'épreuve prendront une teinte opaline et ne donneront pas de grumeaux ; si le dernier cas se produit, on double, triple, quadruple le volume de l'eau à essayer à l'aide d'eau distillée, jusqu'à ce qu'elle soit ramenée à un degré inférieur à 30 ; on opère sur cette nouvelle dissolution, et on double, triple ou quadruple le résultat

obtenu pour en former le véritable degré de l'eau soumise à l'expérience.

1272. Le degré hydrotimétrique fournit une première indication précieuse sur la nature de l'eau essayée ; de nombreuses analyses font voir que le poids des sels terreux renfermés dans un litre d'eau, exprimé en centigrammes, est très-près d'être égal au degré hydrotimétrique.

Le tableau suivant fournit le degré hydrotimétrique de différentes eaux recueillies et essayées par MM. Boutron et Boudet :

Eau distillée	0°,0
de neige recueillie à Paris	2°,5
de pluie —	3°,5
de l'Allier — à Moulins	3°,5
de la Dordogne — à Libourne	4°,5
de la Loire — à Tours	5°,5
du puits de Grenelle	9°,0
du puits de Passy	11°,0
de la Soude et de la Somme-Soude	13°,5
du Rhône	15°
de la Saône	15°
de l'Yonne	15°
de la Seine (pont d'Ivry)	15° à 17°
— à Chaillot	23°
de la Marne, à Charenton	23°
de l'Oise, à Pontoise	21°
de la Dhuis, à la source	24°
de l'Escaut	24°,5
du canal de l'Ourcq	30°
d'Arcueil	28°
des Prés-Saint-Gervais	72°
de Belleville	128°

Cette dernière eau, celle de Belleville, décomposerait 12^{kil},800 de savon, par mètre cube, avant de produire la mousse.

1273. On peut, au moyen d'essais hydrotimétriques, déterminer très-rapidement la composition quantitative d'une eau, du moins au point de vue des substances intéressantes en ce qui concerne le sujet qui nous occupe.

Pour déterminer l'acide carbonique libre, les sels de chaux et de magnésie renfermés dans une eau, on fait les quatre opérations suivantes :

1° Détermination du degré hydrotimétrique de l'eau elle-même ;

2° Détermination du degré de cette eau après avoir précipité la chaux au moyen de l'oxalate d'ammoniaque ;

3° Détermination du degré sur la même eau, après l'avoir fait bouillir doucement pendant une demi-heure, avoir rétabli son volume primitif au moyen d'eau distillée, et après l'avoir filtrée après agitation;

4° Détermination du degré de l'eau bouillie et filtrée, après précipitation par l'oxalate d'ammoniaque.

Le troisième résultat doit subir une correction qui consiste à retrancher 3° du titre obtenu ; ces trois degrés représentent la quantité de carbonate de chaux qui reste en dissolution dans l'eau après le refroidissement.

La différence (*a*) entre la première et la deuxième détermination représente les *sels de chaux*.

La différence (*b*) entre la première et la troisième corrigée représente le *carbonate de chaux et l'acide carbonique*.

La quatrième détermination (*c*) représente les sels de *magnésie*. En ajoutant (*a*) et (*c*) et retranchant du degré perçu par la première détermination, on a le degré (*d*) qui représente l'*acide carbonique;* (*d*) étant retranché de (*b*) fournit le degré (*e*) qui représente le carbonate de chaux ; (*e*) retranché de (*a*) fournit le degré qui représente les autres sels de chaux.

Pour déterminer l'acide sulfurique et le chlore qui entrent dans la composition des sels contenus dans l'eau, on se sert de dissolutions titrées d'azotate de baryte ($2^{gr},14$ pour 100 grammes d'eau) et d'azotate d'argent ($2^{gr},78$ pour 100 grammes d'eau), représentant 20° pour chaque centimètre cube de liqueur. Si l'on veut déterminer l'acide sulfurique, après avoir obtenu le titre de l'eau, on y ajoute l'équivalent du titre en dissolution d'azotate de baryte. On laisse déposer et on filtre ; on détermine le nouveau titre, et en le retranchant du double du titre de l'eau, on obtient le degré qui représente l'acide sulfurique ; pour le chlore, on agit de même en substituant l'azotate d'argent à l'azotate de baryte.

On passe facilement du degré hydrotimétrique qui représente une substance à la quantité de cette substance renfermée dans l'eau au moyen du tableau suivant, qui fournit le poids de chaque substance entrant en dissolution dans un litre d'eau par chaque degré hydrotimétrique qui le représente.

Chaux.....	0,0057
Chlorure de calcium.....	0,0114
Carbonate de chaux.....	0,0103
Sulfate de chaux.....	0,0140
Magnésie.....	0,0042

Chlorure de magnésium....	0,0090
Carbonate de magnésie.....	0,0088
Sulfate de magnésie.....	0,0125
Chlorure de sodium.....	0,0120
Sulfate de soude.....	0,0146
Acide sulfurique.....	0,0082
Chlore.....	0,0073
Savon à 30 p. 100 d'eau....	0,1061
— — ...,	»
Acide carbonique.....	0,005

1274. Nous avons indiqué précédemment la difficulté qui résulte de la lenteur du dépôt des précipités formés dans l'eau par les réactifs qui servent à la purifier. Pour remédier à cet inconvénient, différents inventeurs ont imaginé des dispositions d'appareils servant à mélanger l'eau avec une quantité préalablement déterminée du ou des réactifs convenables et à la filtrer ensuite, de façon qu'on peut ainsi obtenir une alimentation continue d'eau purifiée et claire.

1275. *Epurateur hydrotimétrique à filtre multitubulaire de M. A. Le Tellier.* — Cet appareil représenté (*fig.* 260, 261 et 262) se compose de deux corps cylindriques en tôle rivés sur un même socle de fonte. G est le vase où s'opère la dissolution préalable du ou des réactifs ; H représente le système d'introduction de la masse d'eau à traiter, de celle qui doit dissoudre les réactifs et d'une certaine quantité d'air à laquelle l'auteur attribue l'entraînement de l'acide carbonique libre (cet entraînement nous paraît peu probable en présence d'un réactif dont l'effet est de précipiter l'acide carbonique). I est le filtre où se rend l'eau mélangée au réactif et où se fait la précipitation et la filtration.

L'eau à épurer arrive par le tuyau H muni d'uu robinet dont le boisseau est serré à l'aide d'un presse-étoupe et que l'on manœuvre au moyen de la clef K. Ce robinet étant ouvert, une partie de cette eau va remplir et alimenter le vase G par le tuyau N ; il est nécessaire que l'eau d'arrivée ait une pression de trois mètres environ. Le boisseau du robinet est creux et se termine par une tuyère L qui traverse l'eau à épurer. Une tige tronc-conique, munie d'un petit volant de manœuvre M, est filetée et traverse la tête de la clef du robinet qui lui sert d'écrou ; elle se termine par un obturateur tronc-conique qui sert à fermer ou à ouvrir plus ou moins l'orifice de la tuyère L, suivant la quantité d'eau qu'on veut traiter.

Le vase G porte une tubulure O en fonte, munie d'un couvercle qu'on ferme au moyen d'une presse-mobile ; cette tubulure sert à in-

troduire les réactifs à l'état solide. Un ressort à boudin P placé au fond du vase G porte un petit champignon métallique sur lequel arrive le jet d'eau fourni par le tube N; il en résulte des oscillations

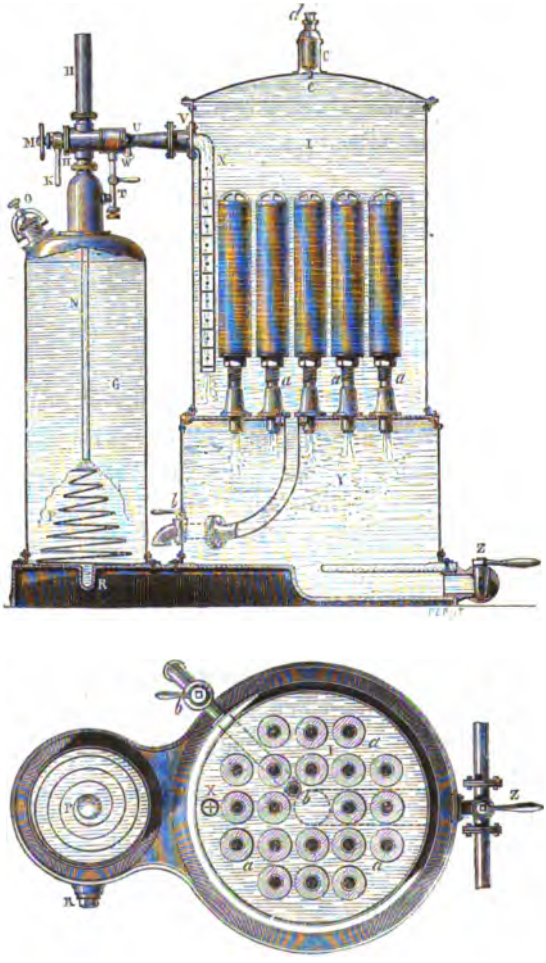


Fig. 260 et 261.

du ressort qui ont pour effet d'agiter le liquide et de faciliter la dissolution. Le nettoyage du vase G se fait au moyen d'un tampon de purge R.

L'eau qui traverse la tuyère L est lancée dans une seconde tuyère S qui communique avec le vase G par un tuyau T muni d'un robinet qu'on ouvre plus ou moins pour régler l'arrivée du réactif en-

traîné par le mouvement de l'eau dans la tuyère S ; en même temps une petite quantité d'air est entraînée à travers la soupape W ; le jet pénètre dans le filtre par la tubulure V, il est dirigé vers le fond par un tuyau X, dans lequel se trouvent disposées des tiges fixes entrecroi-

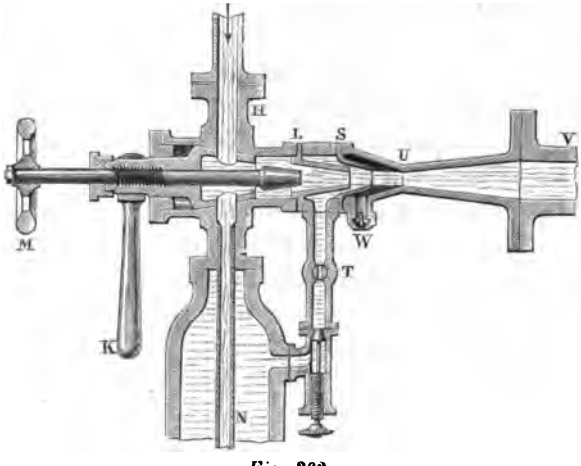


Fig. 262.

sées qui rompent le courant et facilitent le mélange; le filtre est divisé en deux chambres I et Y, par une cloison horizontale percée d'orifices coniques dans lesquels s'introduisent les extrémités des tubes de filtration *a*.

L'un de ces tubes est représenté en coupe (*fig.* 263). Il est formé d'un tube métallique percé de trous dans toute la hauteur, sur lequel on enfile des rondelles de feutre de laine filée, qu'on comprime entre deux plateaux au moyen d'un écrou placé à la base. On nettoie le filtre par le robinet purgeur *b* qui communique avec le fond de la chambre supérieure I. Sur le sommet du couvercle du filtre est placée une tubulure en fonte C qui renferme une soupape *d;* cette soupape est prolongée par une tige guidée *e* qui porte un flotteur : cette soupape s'ouvre quand le niveau de l'eau descend dans le filtre et laisse sortir l'air qui s'accumule à la partie supérieure. La pression intérieure détermine la filtration du liquide trouble qui se rend dans la chambre Y d'où on peut l'extraire par le tube B ; l'entretien de l'appareil consiste dans l'introduction du réactif et dans le nettoyage du filtre ; celui-ci s'opère en ouvrant le purgeur à différents

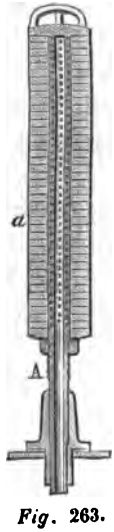


Fig. 263.

intervalles dans la journée ; on doit procéder de temps en temps à un nettoyage complet du filtre en enlevant et brossant les rondelles qui composent les tubes. Dans le cas où l'on dispose d'une chaudière à vapeur, le nettoyage du filtre peut se faire rapidement en introduisant la vapeur dans la chambre inférieure du filtre ; pour cela le robinet B est disposé de façon à mettre l'orifice de sortie Z en communication soit avec le tuyau d'écoulement de l'eau, soit avec un tuyau de vapeur suivant qu'on le tourne à droite ou à gauche.

M. Le Tellier indique comme réactifs la chaux et le carbonate de soude ; la chaux servant à la précipitation du bicarbonate de chaux, le carbonate de soude à celle de sulfate de chaux. Dans une expérience faite à Clichy par le service municipal des travaux publics de la ville de Paris, on n'employait que la chaux à l'épuration ; l'eau de la ville qui alimentait le réservoir marquait 24° à l'hydrotimètre ; après l'épuration elle ne marquait plus que 5° ; cette même eau a été évaporée ; avant l'épuration, l'eau contenait $3^{gr},720$ de matières solides ; après l'épuration, $0^{gr},900$ seulement par 10 litres. Quant au débit qu'on peut obtenir, l'auteur indique pour des appareils qui renferment depuis quatre tubes de $0^{m},30$ de haut jusqu'à 36 tubes de $1^{m},20$, un débit qui varie de 750 litres à 25 mètres cubes par heure.

Les appareils de M. Le Tellier paraissent se répandre en Belgique ; en France, ils sont encore peu employés ; nous craignons, sans avoir pu le vérifier, que l'entretien des filtres soit coûteux. Il nous semble aussi difficile d'arriver à un dosage absolu des réactifs et par suite à une parfaite purification de l'eau.

M. Le Tellier a appliqué le principe de son filtre multitubulaire à la filtration des eaux pour l'alimentation des villes, à celle des eaux d'égout, des eaux de vidange des usines, etc.

1276. MM. Bérenger et Stingl de Vienne (Autriche) nous paraissent être ceux qui ont résolu jusqu'ici de la façon la plus complète le problème de la purification des eaux. Ces messieurs précipitent non-seulement les sels de chaux, mais encore les sels de magnésie. Le réactif employé par eux est un mélange de chaux caustique et de soude caustique en dissolution. La chaux caustique précipite le bicarbonate de chaux à l'état de carbonate neutre de chaux, la soude caustique précipite la magnésie, et il se forme du sulfate de soude et du carbonate de soude ; ce dernier, réagissant à son tour sur le sulfate de chaux que contient l'eau, précipite du carbonate de chaux en formant du sulfate de soude. Dans le cas des eaux qui ne sont pas

extraordinairement chargées de sulfate de chaux, la précipitation de ce dernier sel est ainsi complète.

La dissolution de chaux saturée se prépare dans une cuve en bois, en fer ou en fonte ; la dissolution de soude caustique titrée se prépare dans une cuve en métal, tôle ou fonte, au moyen de carbonate de soude et de chaux vive introduite en quantité convenable. Ces cuves sont placées au-dessus d'un réservoir collecteur qui est destiné à contenir le réactif généralement complexe ; ce réservoir peut être en bois, tôle ou ciment. Les cuves et le réservoir doivent avoir des soupapes de vidange placées à la partie inférieure ; les cuves qui servent à la préparation des réactifs sont munies de robinets placés à $0^m,30$ ou $0^m,35$ du fond et par lesquels on fait écouler le liquide clair en quantité convenable dans le réservoir placé au-dessous. Ce réservoir porte des traverses sur lesquelles se place le plancher de travail et les cuves ; le plancher doit fermer hermétiquement le haut du réservoir pour empêcher l'arrivée de l'air qui transformerait la chaux en carbonate de chaux.

L'aspiration du réactif se fait au moyen d'une pompe dans le réservoir par un tuyau métallique terminé par un tuyau flexible (en caoutchouc) ; ce tuyau se termine par un entonnoir supporté par un flotteur formé d'une boule creuse en métal, de manière à ce que le liquide soit toujours pris à $0^m,25$ au-dessous du niveau, point auquel il est toujours clair et limpide.

L'eau qu'il s'agit de purifier est aussi débitée au moyen d'une pompe et arrive en même temps que le réactif dans une cuve cylindrique verticale appelée *mélangeur ;* le jeu régulier des pompes, convenablement déterminé, amène un mélange en proportion toujours identique de l'eau et du réactif.

L'eau et le réactif sont amenés à la partie supérieure d'un tuyau central placé dans le mélangeur, s'y rencontrent et descendent dans ce tuyau pour remonter ensuite dans le corps du mélangeur où la réaction se termine ; la capacité du mélangeur doit être calculée de façon à ce que les liquides restent en contact pendant le temps nécessaire à la réaction complète. Le mélangeur est en tôle de fer de 5 à 5^{mm} 1/2 de diamètre ; le fond et le couvercle sont rivés et parfaitement étanches ; l'appareil doit pouvoir supporter une pression de 2 à 2 1/2 atmosphères. Le couvercle porte un trou d'homme qui a pour but de faire entrer le tuyau central du mélangeur ou de l'enlever ; un autre trou d'homme, placé au bout du mélangeur, permet à un ouvrier d'entrer dans l'intérieur chaque fois qu'on procède au net-

toyage complet de l'appareil. Le fond porte un clapet fermant hermétiquement, au moyen d'une forte plaque de caoutchouc, l'ouverture inférieure. Ce clapet est placé à l'extrémité d'un bras de levier dont l'autre extrémité est munie d'un contre-poids; chaque fois que l'ouvrier veut vider partiellement le mélangeur, il soulève le contre-poids, qui en retombant ferme hermétiquement l'ouverture; ce mélangeur porte trois robinets d'essai à des distances diverses du fond; il est, en outre, muni d'un manomètre qui doit toujours être à la vue du surveillant.

Du mélangeur, le liquide trouble se rend dans l'*accumulateur* ou tuyau collecteur d'où il peut être envoyé à volonté dans les appareils de filtration, au moyen de robinets dans le cas où on emploie de petits filtres, ou de valves dans le cas des grands filtres. On peut ainsi proportionner la filtration aux besoins.

Les filtres de petit modèle sont en tôle de fer avec couvercle en fonte et bague de couvercle en même métal; ces deux pièces doivent être tournées pour s'ajuster parfaitement. Les rivets intérieurs des côtés et la couronne supérieure doivent être disposés de façon à permettre d'introduire facilement les grilles qui forment le fond. L'extérieur du filtre reçoit 3 couronnes en fer de tôle de 6 à 7^{mm} d'épaisseur, recourbées à leur partie supérieure pour pouvoir supporter la toile métallique de fond. Ces couronnes sont mobiles et concentriques l'une par rapport à l'autre. La grille de fond se compose d'une toile métallique, dont les mailles ont un centimètre d'écartement; elle est fixée sur un cercle en fer rond qui a le diamètre intérieur du filtre. Les couronnes sont placées sur un même plan horizontal avec ce cercle. La grille de fond étant placée, on la recouvre d'une couche de copeaux de bois que l'on tasse fortement avec les pieds, cette couche doit avoir de 12 à 14 centimètres d'épaisseur; sur cette couche on place une seconde grille semblable à la première et au-dessus de cette grille on place un cercle en bois formé d'une planche de sapin de 0^{m},045 d'épaisseur sur 0^{m},30 de hauteur, et dans laquelle on a pratiqué des traits de scie transversaux de façon à leur faire prendre la courbure extérieure du filtre. Ce cercle doit être fortement serré au moyen d'un coin, de façon à s'ajuster très-exactement sur l'intérieur de la cuve du filtre; on achève ensuite de remplir le filtre de copeaux de bois mélangés de coke, et le couvercle en fonte vient s'ajuster en pressant fortement sur cette masse filtrante.

Les filtres grand modèle sont coniques, mais leur disposition inté-

rieure est la même. Les auteurs recommandent l'emploi de ces derniers pour une bonne filtration.

L'eau qui sort des filtres à la partie supérieure est parfaitement claire ; elle est alors dirigée vers le réservoir ou la boîte qui doit la recevoir.

Les filtres petit modèle peuvent débiter de $3^{m3},80$ à 4^{m3} d'eau par heure sous une pression de 1 atmosphère. Les grands filtres débitent de 13 à 14^{m3} par heure sous la même pression. Dans le cas où on emploie les petits filtres, il est bon d'avoir à sa disposition un filtre supplémentaire pour prévoir à toutes les éventualités, et en particulier lorsqu'un des filtres vient à livrer une eau mal filtrée, ce qui n'arrive que lorsque le chargement du filtre a été mal fait.

Quand on veut changer la masse filtrante d'un filtre, on enlève les boutons du couvercle et ceux qui relient le robinet supérieur au tuyau de jonction placé sur le couvercle, et au moyen d'un palan, on soulève le couvercle jusqu'à la hauteur nécessaire pour qu'un homme puisse entrer dans le filtre.

MM. Bérenger et Stingl ont appliqué leurs appareils au traitement des eaux de vidange des usines et particulièrement de celles qui contiennent des produits azotés ; le réactif qu'ils emploient alors est le sesquichlorure de fer qui précipite ces matières en même temps que les matières colorantes.

1277. On a proposé le chlorure de baryum pour la précipitation des sulfates de chaux et de magnésie contenus dans l'eau ; l'emploi de ce sel a le désavantage de laisser dans l'eau filtrée du chlorure de magnésium qui, à la température que subit l'eau dans les chaudières se décompose en magnésie qui se dépose, et en acide chlorhydrique qui devient libre et peut attaquer la tôle. Nous ne croyons pas qu'il y ait lieu de recommander un pareil procédé.

1278. *Emploi d'appareils électriques pour la désincrustation.* — On a proposé un certain nombre d'appareils destinés à empêcher la formation des incrustations fondées sur la production d'un courant électrique. Outre qu'on ne comprend guère comment le courant produit, toujours d'une faiblesse extrême, pouvait agir dans les conditions des appareils proposés, on n'a guère observé à cet égard que des résultats nuls ou contradictoires ; aussi ces appareils paraissent-ils complétement abandonnés.

1279. *Vidange des chaudières complétement refroidies.* — M. Robert Wilson, auteur d'un traité sur les machines à vapeur (Londres, 1874), recommande pour éviter les incrustations de laisser

la chaudière se refroidir graduellement et de la laisser reposer pleine d'eau froide pendant plusieurs jours avant de la vider ; par ce moyen, dit-il, les dépôts ne sont pas échauffés fortement, et cuits pour ainsi dire, et le sulfate de chaux déposé peut se redissoudre dans l'eau froide. Cette opération, répétée d'une façon suffisamment fréquente et combinée avec l'addition à l'eau d'une certaine quantité de carbonate de soude, suffit, d'après l'auteur, pour permettre de maintenir une chaudière en bon état d'entretien. On comprend en effet que tel puisse être le résultat de cette façon d'opérer, mais elle exige qu'on ait toujours une ou plusieurs chaudières de rechange, et il en résulte une augmentation de frais d'installation et de place occupée sans que d'ailleurs l'efficacité du procédé puisse être considérée comme absolue. Aussi croyons-nous qu'il vaudra mieux dans beaucoup de cas, et particulièrement quand il s'agira des chaudières tubulaires, recourir à une purification préalable et complète des eaux employées, en indiquant toutefois que lorsque, malgré toutes les précautions employées, la vidange de la chaudière deviendrait nécessaire par suite des dépôts formés, il vaudra toujours mieux faire cette opération avec la chaudière lentement refroidie.

Quand la chaudière que l'on met en vidange ne doit subir qu'un arrêt de marche très-court, il est bon d'introduire l'eau froide en même temps que se fait l'expulsion de l'eau chaude ; on obtient ainsi un refroidissement lent et régulier de la chaudière qui n'amène aucune altération des joints ou de la tôle.

1280. *Alimentation des générateurs par de l'eau distillée.* — On éviterait évidemment les dépôts, en alimentant les chaudières par de l'eau distillée. Quand la vapeur est employée au chauffage, on satisfait, au moins en partie, à cette condition, en recueillant les eaux condensées pour servir à l'alimentation. Mais, quand la vapeur est employée à faire mouvoir une machine, la question devient bien plus compliquée ; il faut condenser la vapeur qui sort de la machine sans la mêler avec des eaux impures, comme cela se pratique ordinairement. La condensation de la vapeur doit alors s'effectuer par contact, avec des surfaces constamment refroidies.

1281. Les condenseurs à surface ont été imaginés pour condenser la vapeur des machines marines. La première application qui en ait été faite et qui date de 1838 est due à l'ingénieur-mécanicien anglais Hall. Dans certaines dispositions, les surfaces de condensation étaient formées de faisceaux tubulaires plongés dans la mer au-dessous de la surface de flottaison ; on voulait ainsi utiliser le sil-

lage du navire; mais ces surfaces étaient bientôt encombrées et soustraites à tout contact renouvelé avec l'eau de mer. Aussi dans le système qui a prévalu, l'appareil condensateur est-il placé dans l'intérieur du navire; et c'est au moyen d'une pompe qui puise l'eau à la mer et la refoule dans l'appareil, que s'opère la circulation de de l'eau froide autour des surfaces condensantes.

Ce n'est que vers 1862 que les condenseurs à surface ont trouvé faveur dans la marine de l'État, alors que la haute pression et la détente étaient enfin adoptées, avec des machines à deux ou trois cylindres. Dans la marine, on admet que les condenseurs à surface produisent une économie d'environ 15 p. 100, parce qu'ils ont supprimé les extractions permanentes. Les machines sont munies de pompes à air en même temps que de condenseurs à surface; il ne s'établit plus maintenant de machines marines autrement constituées. C'est le système qu'on appelle *Compound* en Angleterre et aux États-Unis.

Le condenseur de la marine se compose de deux ou trois faisceaux tubulaires formés de tubes en cuivre de 20 millimètres, plus ou moins nombreux, plus ou moins larges, suivant les emplacements et la force des machines, et qui sont placés dans une caisse métallique; l'eau foulée par les pompes parcourt successivement les différents faisceaux, tandis que la vapeur à condenser afflue dans la caisse. A l'origine, c'était la vapeur qui passait dans les tubes; on y a substitué le système actuel parce que la circulation de l'eau ne se faisait pas bien avec le premier. L'un et l'autre mode laissent à désirer, soit au point de vue de la meilleure utilisation possible des surfaces refroidies, soit au point de vue du poids total de l'appareil; de plus le nettoyage de la surface intérieure des tubes qu'enduisent les graisses entraînées par la vapeur, ainsi que celui de leur surface interne, n'est ni facile ni prompt à exécuter dans la plupart des cas; aussi l'encrassement des tubes peut-il arriver à réduire sensiblement l'effet utile des surfaces condensantes.

1282. Les condenseurs à surface ont permis de supprimer l'extraction réglementaire des eaux saturées dans les chaudières marines; cependant les faisceaux tubulaires et les plafonds des foyers ont besoin d'être nettoyés et désincrustés de temps en temps; c'est qu'en effet un supplément d'eau nouvelle pour l'alimentation est nécessaire pour compenser les fuites de vapeur, etc., et cela en quantités fort variables suivant les circonstances; aussi peut-on prévoir l'adoption pour les chaudières marines du système que nous

décrirons plus loin et qui rend amovibles les foyers et les faisceaux tubulaires.

1283. M. Bourdon a employé une disposition de ce genre, pendant plusieurs années, dans son atelier de construction. Le condenseur était formé de deux boîtes cylindriques, à bases circulaires, d'une petite hauteur, ayant le même axe horizontal et réunies près de leur circonférence par 72 tuyaux de cuivre. Chaque boîte était munie à son centre d'un tube destiné d'un côté à l'admission de la vapeur, de l'autre à l'écoulement de l'eau résultant de la condensation dans le réservoir de la pompe alimentaire ; ces tubes tournaient dans des boîtes à étoupes fixées à un cylindre enveloppant; celui-ci renfermait l'eau servant à la condensation, et était alimenté d'une manière continue. Le cylindre tubulaire recevait un mouvement de rotation qui, en renouvelant l'eau en contact avec les surfaces, favorisait la condensation. M. Bourdon avait été conduit à construire cet appareil, parce que la chaudière dont il se servait était d'une disposition toute particulière, et ne pouvait pas être nettoyée intérieurement.

1284. Dans les usines où le chauffage se fait à la vapeur, les appareils de chauffage eux-mêmes fonctionnent comme condenseurs à surface; c'est ce qui arrive par exemple dans les fabriques de sucre; on peut alors utiliser tous les retours d'eau à l'alimentation de la chaudière; on peut y joindre aussi les eaux de condensation des machines; mais il est bon pour ces dernières de les soumettre à une filtration qui leur enlève les matières grasses provenant des machines. Dans les fabriques de sucre, en particulier, on peut utiliser à ce service les noirs déjà épuisés par la filtration des sirops.

1285. *Alimentation des générateurs en se servant toujours de la même eau pour la condensation.* — Si on avait un certain volume d'eau pure à sa disposition, on pourrait, en employant la condensation par injection, faire constamment servir la même eau pour la condensation de la vapeur; il suffirait pour cela de la refroidir, après qu'une certaine partie aurait été prise pour l'alimentation de la chaudière. Le refroidissement de l'eau chaude sortant du condenseur s'effectuerait en faisant passer sa chaleur dans un certain volume d'eau froide. Pour économiser l'eau froide, on pourrait disposer l'appareil de manière à faire passer toute la chaleur des eaux chaudes pures dans le même volume d'eau non purifiée; il suffirait pour cela de faire marcher les deux liquides en sens contraire dans des canaux séparés par des cloisons métalliques d'une longueur suf-

fisante, et avec une petite vitesse. Mais, pour abréger le temps, il serait plus avantageux d'employer un plus grand volume d'eau impure. On pourrait se servir d'un grand nombre de dispositions différentes, qui seront examinées à l'occasion du chauffage des liquides.

1286. En résumé, le pratique enseigne que quand on a à construire un établissement industriel où la vapeur joue un rôle important, il faut d'abord chercher à alimenter ses chaudières avec des eaux courantes, aussi dépourvues que possible de matières incrustantes, comme l'eau de Seine par exemple; il est vrai qu'on ne sera pas ainsi absolument à l'abri des dépôts et des incrustations, mais ils ne seront pas considérables; on pourra en éviter les inconvénients par une bonne installation, un bon système de chaudière et par une surveillance bien réglée. Le chauffage préalable de l'eau d'alimentation à la température de 150° dans un réchauffeur placé à la suite de la chaudière, afin d'éviter les dépôts dans celle-ci, n'est pas toujours praticable; de plus, pour produire tout l'effet voulu, il faudrait que l'eau ne fût pas agitée; aussi ce moyen ne donnera-t-il de résultats utiles que dans le cas d'eaux très-chargées de matières incrustantes, et il faudra prendre le soin de disposer le bouilleur de façon à ce qu'il soit facile d'en enlever les incrustations. Les réchauffeurs utilisés en Alsace ayant surtout pour but d'abaisser le plus possible la température de la fumée avant de la livrer à la cheminée ne produisent guère de ces dépôts.

1287. L'enlèvement au burin des incrustations doit être fait avec le plus grand soin ; dans certains cas, il sera bon d'imaginer des outils convenables pour agir sur les parties de la chaudière difficilement accessibles ; dans tous les cas, il faudra éviter d'attaquer le métal avec l'outil employé. Chaque point de la chaudière déchiré par le burin devient un centre de dépôt des incrustations ou un point plus facilement altérable par les agents qui peuvent détruire la chaudière.

On emploie quelquefois pour rompre et détacher les incrustations un moyen qui doit être proscrit d'une façon absolue; il consiste à refroidir brusquement la chaudière après qu'on l'a vidée, en y faisant arriver de l'eau froide ; ou bien encore à ouvrir complétement les portes et les registres du fourneau, la différence de dilatibilité du métal et des incrustations détermine la rupture de ce dernier; mais il en résulte une fatigue de métal et des rivures qui peut devenir dangereuse; il est bon aussi de se mettre en garde contre ce tour de main qui peut dans certains cas être employé pour prouver l'efficacité de certaines substances contre les incrustations.

1288. Quand on sera dans la nécessité d'employer des eaux impures, il faudra recourir à un moyen chimique d'épuration, et il sera toujours bon de l'appliquer à l'eau d'alimentation avant son entrée dans la chaudière. Pour les eaux corrosives des mines et des houillères, on les corrigera avec le carbonate de soude ou de potasse ou tel autre sel convenable suivant leur nature et avant de les introduire dans la chaudière.

1289. Pour les chaudières marines, il n'existait pas autrefois d'autre moyen pratique de mettre obstacle aux incrustations que l'évacuation de l'eau quand elle approchait du point de saturation. L'usage des condenseurs à surface a de beaucoup réduit la nécessité de cette opération qui retardait ou diminuait la production des incrustations, mais ne les supprimait pas absolument.

L'extraction se faisait au moyen d'une pompe dite de *désaturation* qui enlevait l'eau saturée de la chaudière pour la rejeter hors du navire. Cette pompe qui, suivant les uns, devait prendre l'eau à $0^m,10$ environ au-dessous du niveau dans la chaudière, ou près du fond, suivant les autres, fonctionnait soit d'une façon continue, soit d'une manière intermittente, en se guidant, dans ce dernier cas, d'après les indications d'un *Salinomètre*. Ce système a été abandonné et remplacé par l'extraction à la main et par intermittence, à l'aide de la manœuvre de simples robinets. On devait dès lors se régler avec soin sur le salinomètre pour opérer en temps opportun ; mais, pour plus de sécurité, l'extraction se fait en général à des intervalles réguliers. Pour les chaudières multitubulaires, qui sont pour ainsi dire les seules en fonctionnement aujourd'hui, l'extraction a lieu à peu près d'heure en heure.

L'extraction occasionne une perte importante de combustible, car avec la pompe de désaturation à marche continue elle était réglée à la moitié de l'eau fournie par la pompe alimentaire. Pour remplir son objet, l'extraction doit être au moins d'un tiers ou un quart du volume de l'eau d'alimentation. Avec les condenseurs à surface, elle est encore utile, mais dans de bien moindres proportions.

En résumé, les chaudières marines ne sont pas à l'abri de dépôts que rien ne supprime absolument, ni de leurs conséquences.

1290. On a attribué à l'eau distillée et particulièrement à celle des condensateurs à surface une action corrosive sur le fer et l'acier. M. James Jack a constaté (*Bulletin de la Société d'encouragement*, 1866) qu'avec l'eau des condensateurs à surface des chaudières contenant un dépôt d'oxyde de fer hydraté dont l'épaisseur était de

0m,019 au maximum, il se produisait des cavités dans les tuyaux et dans la tôle et surtout au-dessus de la plaque de foyer. Les chaudières dont il s'agit étaient faites en tôle de la meilleure qualité, tirées d'établissements divers; la nature de la tôle n'entrait donc pour rien dans la production de l'altération; on a paralysé l'action destructive en ajoutant 1/10 à 1/6 d'eau de mer à l'eau des condensateurs à surface. Les mêmes altérations ont été observées sur deux chaudières de raffinerie alimentées par l'eau de condensation, tandis que cela n'avait pas lieu pour deux autres chaudières de la même raffinerie alimentées à l'eau ordinaire.

Dans la revue de M. Cuyper (tome XVI) on trouve un extrait de l'Engineer dans lequel il est constaté que l'altération produite par l'eau pure cesse quand il y a une petite quantité de calcaire dissoute dans l'eau. M. Rambotton, ingénieur du *London and North Western railway*, avait reconnu que l'eau pure des sources situées entre Manchester et Huddenfield produisait dans les chaudières des locomotives une corrosion analogue à celle qui est observée dans les chaudières marines munies de condenseurs à surface. Il a remédié au mal en ajoutant à l'eau du carbonate de chaux.

1291. L'altération produite est-elle due, comme certaines personnes l'ont pensé, à ce que le fer est directement attaqué par l'eau distillée, tandis qu'il ne le serait pas par l'eau tenant des sels calcaires en dissolution? Les expériences très-nettes de M. Scheurer-Kestner (*Bulletin de la Société de Mulhouse*, 1871) fournissent une réponse à cette question.

Dans ces expériences, on a placé des eaux de diverses natures dans des flacons parfaitement bouchés, une barre de fer traverse le bouchon et vient plonger dans l'eau de chaque flacon.

Dans un premier flacon on a introduit de l'eau non calcaire et bien aérée (vallée de Saint-Amarin); après plusieurs semaines, on observe des stries jaunes au fond de l'eau; des champignons de rouille se sont formés sur la barre; on sort le fer de l'eau, on le nettoie, on le remet en place, il reste brillant; l'oxydation cesse donc dès que l'oxygène que l'eau tient en dissolution est consommé.

Dans un second flacon on a employé de l'eau calcaire et bien aérée provenant du terrain jurassique; l'oxydation s'est produite plus tard que dans le premier cas; on a sorti le fer et on l'a nettoyé en même temps que celui du flacon précédent; on l'a remis en place, l'oxydation a continué; on peut conclure de cette expérience que la présence du calcaire rend l'oxydation plus lente.

Dans un troisième flacon, on a introduit de l'eau distillée récemment bouillie : aucun phénomène d'oxydation ne s'est manifesté.

On voit donc que dans les eaux pures et bien aérées, l'oxydation doit être attribuée à l'oxygène de l'air dissous ; la présence du calcaire retarde cette action et la rend beaucoup plus faible. Dans le cas des eaux de condensation, la présence des acides gras doit faciliter l'altération. Nous connaissons d'ailleurs des sucreries dans lesquelles les chaudières sont alimentées par les eaux de retour et où il ne se produit aucune trace d'oxydation ; on prend soin de filtrer sur des noirs épuisés les eaux de condensation des machines.

CHAPITRE IX

Conduite des chaudières à vapeur.

1292. L'alimentation des foyers des chaudières à vapeur exige, de la part du chauffeur, du soin et de l'intelligence ; il doit surveiller en même temps les appareils de sûreté, les indicateurs de niveau, et surtout l'appareil d'alimentation de la chaudière.

1293. L'alimentation du foyer doit être faite avec discernement, et de manière que la pression de la vapeur et le niveau de l'eau soient toujours au point convenable. Des chargements trop fréquents ont l'inconvénient d'introduire dans le foyer une trop grande quantité d'air froid par la porte qui reste nécessairement ouverte. Une épaisseur trop grande ou trop petite de la couche de combustible, des morceaux trop gros ou trop menus diminuent l'effet utile, soit par le passage à travers le foyer d'une grande quantité d'air inutile à la combustion, soit par la distillation d'une partie du combustible, soit enfin par la formation d'une certaine quantité d'oxyde de carbone. Ainsi, ce n'est que par des observations suivies que le chauffeur parviendra à reconnaître, d'après les dimensions de la grille, le tirage de la cheminée, la nature du combustible et la grosseur des morceaux, quelles sont les conditions les plus favorables à l'économie du combustible.

1294. Le charbon doit être chargé en morceaux d'égale grosseur, autant que possible ; si le chauffeur a du gros à consommer, il le cassera en morceaux du volume d'un œuf à peu près, et avec soin pour ne pas faire de menu. Quand il chargera, il repoussera sur le

fond de la grille le charbon amené à l'état de coke et placera la charge fraîche sur le devant; les grilles inclinées sont utiles, elles sont favorables à ce mode de chargement et augmentent la capacité du foyer. On a reconnu à Mulhouse que l'inclinaison d'une grille longue procurait une économie de 7 p. 100 par rapport à la même grille placée horizontalement. Il est bon de mettre sur la tablette du foyer le charbon destiné à la charge suivante.

Le chauffeur doit éviter surtout de pousser le feu avec une trop grande activité, parce que, la partie de la chaudière située au-dessus du foyer produisant une très-grande quantité de vapeur, la paroi intérieure pourrait ne pas être mouillée par l'eau d'une manière continue; il en résulterait une élévation de température qui pourrait produire une altération du métal. Cette altération porte le nom de coup de feu; elle se manifeste par des écailles d'oxyde qui se détachent et des gonflements de la tôle qui diminuent beaucoup sa résistance.

1295. Les variations brusques de température du foyer ont toujours une influence fâcheuse par les inégalités de dilatation qu'elles produisent dans la chaudière ou dans les carneaux. Ainsi, il ne faut pas éteindre les foyers par des injections d'eau, mais laisser refroidir le fourneau lentement.

1296. Lorsque le travail doit être interrompu, mais seulement pendant une courte durée, le chauffeur doit abaisser le registre de la cheminée et ouvrir la porte du foyer. Si la pression s'élevait vers la fin de la journée, il doit diminuer progressivement les charges, de manière qu'à l'instant de la cessation du travail il ne reste que peu de combustible sur la grille. Alors il doit le couvrir de cendres, abaisser le registre de la cheminée et fermer le cendrier, auquel il est essentiel d'adapter des portes ou une plaque de fer meture.

1297. On a proposé d'abaisser, en partie du moins, le registre de la cheminée quand on ouvre la porte pour charger la grille; cet abaissement a en effet l'avantage de diminuer la quantité d'air froid qui passe dans les carneaux sans alimenter la combustion; mais les gaz qui se produisent dans le foyer se trouvent moins bien brûlés, et l'appel d'air extérieur, qui se produit aussitôt qu'on ouvre le registre, pourrait donner lieu, dans quelques circonstances particulières, à des explosions dans les carneaux. Soit par crainte de ces accidents, soit à cause de la négligence des chauffeurs, cette manœuvre ne s'est pas répandue.

1298. Les houilles produisant toujours des scories plus ou moins adhérentes aux barreaux, il faut soulever ces scories de temps en temps au moyen d'une tige de fer recourbée (*sabre du chauffeur*) que l'on introduit en dessous à travers les barreaux, et, après un certain temps, il faut les enlever de la grille.

1299. Le manomètre doit être constamment surveillé; si la pression dépassait la limite assignée, il faudrait modérer la combustion en abaissant le registre, en fermant plus ou moins la porte du cendrier, ou en ouvrant en partie la porte du foyer. Le chauffeur doit soulever de temps en temps les soupapes de sûreté, pour s'assurer qu'elles n'adhèrent pas à leurs siéges ; mais il ne faut pas renouveler trop fréquemment cette opération, attendu que les dépôts de l'eau, entraînés par la vapeur, salissent les surfaces qui doivent être en contact, et s'opposent à la fermeture hermétique des soupapes. Dans aucun cas et pour aucune raison, les soupapes ne doivent être surchargées.

1300. L'attention du chauffeur doit surtout se porter sur les indicateurs de niveau et sur l'appareil d'alimentation, appareils qu'il doit tenir tous deux en parfait état de fonctionnement, car presque toutes les explosions ont eu pour cause un abaissement de niveau dans la chaudière au delà d'une certaine limite. Le tube indicateur et le flotteur doivent être souvent observés; l'immobilité de l'aiguille de ce dernier, dans un point intermédiaire à la graduation, serait un indice que le fil de suspension du flotteur est trop serré dans la boîte à étoupe, et que l'appareil ne fonctionne pas; il faudrait alors desserrer l'écrou qui presse les étoupes. Si l'aiguille restait immobile à l'une des extrémités du cadran, le niveau serait trop haut ou trop bas ; dans le premier cas, en diminuant l'ouverture du robinet du tuyau d'alimentation, on diminuerait la quantité d'eau introduite à chaque instant dans la chaudière, et on ramènerait en peu de temps le niveau à la hauteur normale. Dans le second cas, si l'abaissement du niveau était considérable, et que la partie de la chaudière qui se trouve au-dessus de l'eau fût rouge, il y aurait le plus grand danger à remonter brusquement le niveau. Le seul parti à prendre serait de jeter bas le feu et de s'éloigner du fourneau; une explosion serait à craindre.

1301. Si l'abaissement du niveau était peu considérable et n'était pas arrêté par une plus grande ouverture du robinet du tuyau d'alimentation, il proviendrait d'un dérangement dans la pompe ou dans l'appareil d'alimentation. Dans le cas où l'on pourrait obvier promp-

tement à cet accident, il ne serait pas nécessaire d'interrompre le chauffage ; mais, si les réparations ne pouvaient se faire en peu de temps, il faudrait faire tomber le feu et arrêter immédiatement.

1302. Les incrustations ont une grande influence sur la durée des chaudières et il paraît que, dans certains cas, elles peuvent être une cause d'explosion. Le chauffeur doit donc opérer le nettoyage de ses chaudières avant que ces dépôts soient devenus trop considérables. Mais il est toujours très-avantageux d'employer les précautions indiquées dans le chapitre précédent pour empêcher l'adhérence des dépôts, et surtout pour les éviter.

1303. Sous le rapport de leur altération par l'usage, on observe de grandes différences entre des chaudières de même forme, placées dans les mêmes circonstances. Souvent les bouilleurs se détériorent en très-peu de temps ; d'autres fois ils n'éprouvent point d'altération, même après un très-long travail. Je citerai comme exemple une chaudière établie dans une grande raffinerie de sucre, qui, après douze ans, n'avait pas éprouvé la moindre altération. Il est probable que ces différences proviennent non-seulement de la qualité de la tôle, mais encore de la nature du combustible, des eaux d'alimentation et aussi des soins du chauffeur.

1304. Les chaudières s'altèrent encore par les fuites, à cause de l'oxydation que l'eau fait éprouver au métal. Quand les fuites sont légères, on peut les arrêter en introduisant dans la chaudière un peu de chaux et de son ; l'amidon forme avec la chaux une espèce de mastic qui vient se déposer dans les fentes.

1305. Les chaudières doivent aussi, de temps en temps, être nettoyées extérieurement, pour enlever la suie qui recouvre leur surface et qui diminue notablement la transmission de la chaleur. Les tampons mobiles placés aux extrémités des carneaux rendent cette opération facile. Ordinairement on enlève la suie au moyen d'un râcloir fixé à l'extrémité d'une barre d'une longueur suffisante, ou avec une brosse métallique. Après le nettoyage extérieur des chaudières, on s'aperçoit en général, pendant les premiers jours qui suivent, d'une augmentation très-sensible d'effet utile. Quelques constructeurs se réservent les moyens de faire ce nettoyage pendant la marche de l'appareil. Cette précaution est même indispensable pour les chaudières à petits tubes.

Les chaudières à vapeur ne peuvent être installées, du moins en France, qu'après certaines formalités détaillées dans les ordonnances

spéciales de l'administration. Ces ordonnances sont indispensables à consulter, quand on a à établir une chaudière à vapeur.

CHAPITRE X

Dispositions diverses des générateurs à vapeur.

Générateurs fixes.

1306. *Petites chaudières.* — On a donné fréquemment aux petites chaudières la disposition indiquée par la figure 264. La surface de chauffe est de $1^{mq},50$. Elle peut fournir 25 à 30 kilogrammes de vapeur à l'heure. Le foyer rayonne sur tout le fond de la chaudière, et la fumée circule une seule fois autour, dans un canal qui s'élève à $0^{m},10$ ou $0^{m},15$ du niveau de l'eau ; une petite murette oblige la fumée à suivre le carneau, qui communique à la cheminée par un canal placé derrière cette murette. Il est important, dans cette disposition, de ne pas donner une trop grande section aux carneaux ; autrement l'air chaud n'en parcourrait que la partie supérieure ; ou, dans le cas d'une section, il faut mettre la communication avec la cheminée à la partie inférieure du carneau.

Fig. 264.

1307. On a construit, pour des chaudières du même genre, des fourneaux dans lesquels l'air chaud circulait plusieurs fois autour de la chaudière, dans un canal ayant la forme d'un hélice ; mais ces carneaux avaient nécessairement une grande longueur et opposaient beaucoup de résistance au mouvement des gaz. Ces fourneaux ne marchaient qu'avec un grand tirage, et sans produire plus d'effet que la disposition indiquée dans la figure 264 ; d'ailleurs, il fallait nécessairement enlever la chaudière pour nettoyer les carneaux. Cette disposition est complétement abandonnée.

1308. On a proposé ensuite de faire sortir l'air chaud du foyer par tous les points du contour de la chaudière, en plaçant, entre la surface cylindrique et le mur enveloppant, des briques qui obligent la fumée à changer à chaque instant de direction. Ces chicanes augmentent les résistances, diminuent la surface de chauffe, néces-

sitent le déplacement de la chaudière pour le nettoyage des carneaux, et il faut en outre une disposition particulière pour la communication avec la cheminée, afin que l'air chaud ne suive pas seulement la surface de la chaudière la plus voisine de la cheminée. Toutes ces complications sont sans utilité et doivent être abandonnées.

1309. *Chaudières à basse pression.* — La figure 265 représente une coupe transversale de la disposition connue sous le nom de chaudière de Watt ou en *tombeau*. Ces chaudières ont le grand inconvénient de se déformer par la pression, malgré les nombreuses armatures qui s'opposent à l'écartement des flancs et des bouts, et les mouvements qui se produisent les font souvent perdre à froid. J'ai assisté à une expérience, qui avait pour objet d'essayer la résistance d'une chaudière de Watt par de l'eau que l'on comprimait à l'aide d'une pompe foulante; la chaudière éprouvait des déformations très-marquées, même sous de faibles pressions. Je suis étonné que ces chaudières ne se détériorent pas plus vite par les mouvements qu'elles éprouvent continuellement. Elles sont, du reste, depuis longtemps complétement abandonnées en France.

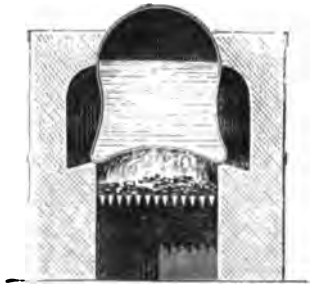


Fig. 265.

1310. La figurent 266 présente une modification assez importante des chaudières en tombeau. L'air chaud, après avoir parcouru la partie inférieure de la chaudière, revient en avant par un canal central, et retourne à la cheminée simultanément par deux carneaux latéraux. Par cette disposition on augmente la surface de chauffe pour une longueur donnée de la chaudière; les surfaces sont mieux utilisées, et le tuyau central sert d'armature pour maintenir les deux fonds. Mais il est difficile de répartir également l'air chaud dans les deux carneaux latéraux ; presque toujours la vitesse est plus grande dans l'un que dans l'autre; et même, si les carneaux sont trop grands, l'air chaud n'en parcourt qu'un seul. Il faut alors placer des registres à l'extrémité de chacun

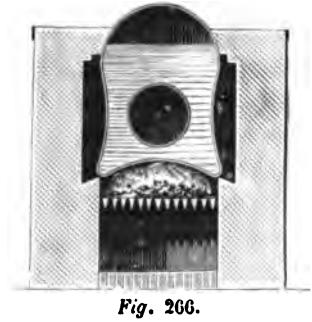


Fig. 266.

d'eux, et les régler de manière à diviser également la fumée; on y parviendra facilement, en observant l'appel dans de petits orifices ménagés dans les plaques qui ferment les ouvertures des carneaux. On faciliterait beaucoup l'égale répartition de la fumée dans les deux carneaux latéraux, en plaçant dans le canal central une lame de tôle verticale de la hauteur du tube, de quelques décimètres de longueur, et qui se prolongerait en avant, de manière à séparer complétement le carneau en deux parties. On pourrait aussi faire passer la fumée tout entière par un seul carneau; mais il faudrait que la cheminée fût placée du côté du foyer. Cette forme de chaudière, comme la précédente, a complétement disparu.

1311. *Chaudières à haute pression.* — Ces chaudières sont toujours composées d'un ou de plusieurs cylindres à base circulaire, parce que cette forme est la seule qui ne change pas par la pression. Cette disposition est maintenant généralement employée, même pour les faibles pressions.

1312. La figure 267 représente une coupe transversale d'une disposition souvent employée en Angleterre. Le foyer est placé au-dessous de la chaudière; l'air brûlé parcourt d'abord la partie inférieure, revient en avant dans un tube central, et retourne à la fois par les deux faces latérales de la chaudière. Tout ce que nous avons dit précédemment sur la difficulté de répartir également la fumée dans ces deux canaux, et sur les moyens d'y parvenir, est évidemment applicable à cette disposition.

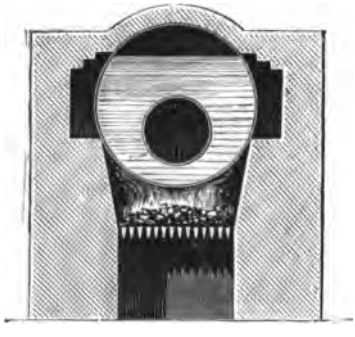


Fig. 267.

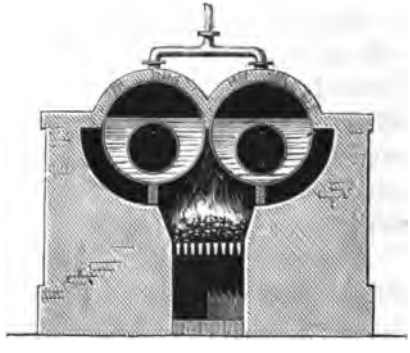


Fig. 268.

1313. Dans la figure 268, l'appareil est composé de deux chaudières, semblables à celle de la figure précédente, et qui communiquent entre elles par la partie supérieure et par la partie inférieure; l'air

chaud, à l'extrémité du carneau inférieur, se divise en deux parties; il revient en avant par les tuyaux placés dans l'intérieur des chaudières, et retourne à la cheminée par les carneaux latéraux. Cette disposition fait produire un plus grand effet utile aux surfaces de chauffe qui sont au-dessus du foyer, et permet d'employer des tôles moins épaisses, parce que les diamètres des cylindres sont plus petits.

1314. La figure 269 représente la disposition des chaudières originairement employées en Cornwall, pour les machines d'épuisement à moyenne pression et à simple effet. Le foyer est intérieur; l'air brûlé revient en avant par un canal qui règne sous la chaudière et retourne à la cheminée par deux carneaux latéraux. Les chaudières sont ordinairement au nombre de trois; mais deux suffisent à la machine. Elles ont 7 pieds anglais ($2^m,13$) de diamètre et 36 pieds ($10^m,97$) de longueur; l'épaisseur de la tôle est de $\frac{7}{10}$ de pouce ($0^m,018$); le diamètre du tube intérieur est de 4 pieds ($1^m,22$), la longueur de la grille est la même; le mur au delà de la grille s'élève jusqu'à 9 pouces ($0^m,23$) de l'arête supérieure; la distance des tubes à la partie inférieure est de 8 pouces ($0^m,21$), et le conduit inférieur a 4 pieds ($1^m,22$) de largeur sur 20 pouces ($0^m,51$) de hauteur. Ces dispositions sont très-bonnes; mais le canal qui est au delà du

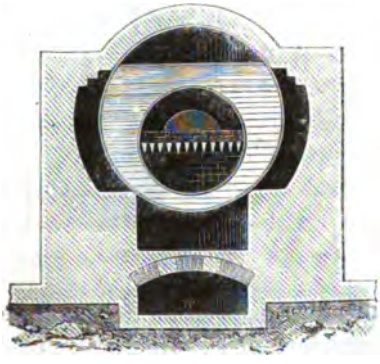


Fig. 269.

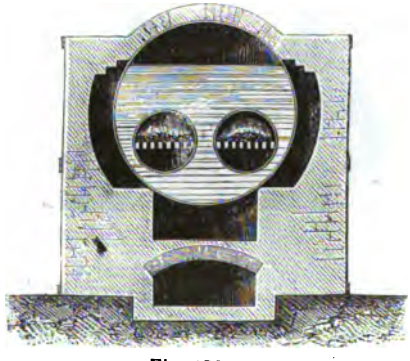


Fig. 270.

foyer est trop grand, et sa surface de chauffe est mal employée : il faudrait y placer un bouilleur concentrique, comme l'indique la figure; enfin, il faudrait isoler du sol le conduit inférieur, par de l'air stagnant, au moyen d'une voûte. Avec ces changements, en donnant aux carneaux une section convenable, et à la surface totale de

chauffe une étendue suffisante, cette disposition est certainement une des meilleures qu'on puisse employer pour des chaudières à basse et à moyenne pression; elle est surtout bien préférable aux chaudières en tombeau.

1315. La figure 270 représente une chaudière analogue à la précédente, mais à deux tubes intérieurs et à deux grilles. C'est ce modèle de Cornwall que l'on rencontre le plus fréquemment en Angleterre; les tubes ont de $0^m,70$ à $0^m,74$ de diamètre et leur écartement est de $0^m,20$ à $0^m,25$.

1316. La figure 271 représente une disposition peu usitée en France, et dans laquelle la surface de chauffe serait certainement mieux utilisée que dans la plupart des chaudières ordinaires; l'air chaud, en sortant du foyer, parcourt une seule fois la longueur de la chaudière qui doit être assez grande, mais dans un canal étroit, dont la section est seulement suffisante pour le tirage. Mais on conçoit facilement qu'un carneau aussi étroit s'encombre facilement par les suies et les matières entraînées, aussi ce modèle n'est-il pas d'un emploi recommandable.

Fig. 271.

Fig. 272.

1317. La figure 272 représente une autre disposition de chaudière à foyer extérieur et à circulation complétement extérieure; la chaudière se compose de deux corps cylindriques égaux, placés l'un au-dessus de l'autre. Parfois aussi le corps supérieur est plus gros que l'inférieur.

1318. En France, les chaudières que l'on rencontre le plus souvent sont à bouilleurs et disposées comme l'indiquent les figures 273 et 274. La partie inférieure seule des bouilleurs reçoit le rayonnement du foyer; la partie supérieure et la chaudière sont chauffées

par l'air brûlé, qui parcourt trois fois la longueur du fourneau avant de se rendre dans la cheminée.

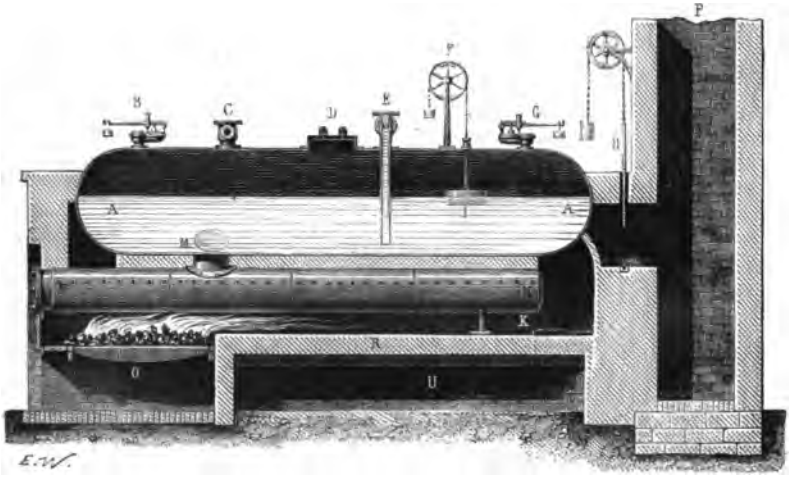


Fig. 273.

1319. On place assez souvent une voûte au-dessus des bouilleurs, de manière à utiliser la surface totale de la partie supérieure des bouilleurs comme surface de chauffe directe; mais cette disposition peut présenter un inconvénient. En effet, la partie supérieure des bouilleurs, se trouvant toujours occupée par la vapeur qui passe dans la chaudière, peut s'échauffer beaucoup et même rougir, et il en résulte des altérations rapides de la tôle. En outre, si l'espace compris entre la voûte et les bouilleurs est trop grand, on perd une partie de la surface de chauffe des bouilleurs, par suite du passage des gaz les plus chauds sous la voûte. Une meilleure disposition consiste à établir cette cloison de manière à préserver le dessus des bouilleurs du contact du gaz venant directement du foyer, tout en conservant la plus grande partie possible de la surface directe de chauffe; tout au moins convient-il de laisser très-peu d'espace entre la voûte et les bouilleurs.

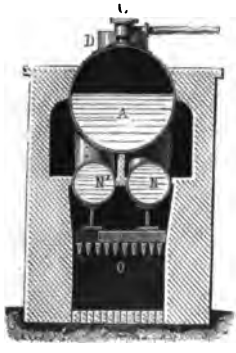


Fig. 274.

1320. Les bouilleurs, recevant les premiers effets du foyer, se dilatent plus que les chaudières; et si les communications ont lieu par

deux tubulures éloignées l'une de l'autre, il en résulte des fuites, à cause des différences de dilatation. Aussi convient-il de rapprocher les cuissards et même de placer les deux cuissards d'un bouilleur sur la même feuille de tôle, et si une communication est jugée nécessaire à l'extrémité de la chaudière, à cause de sa longueur, on l'établit par un tube courbe de cuivre *cb*, qui peut se déformer sans se rompre (*fig.* 275). Il est utile, dans ce cas, que les bouilleurs soient

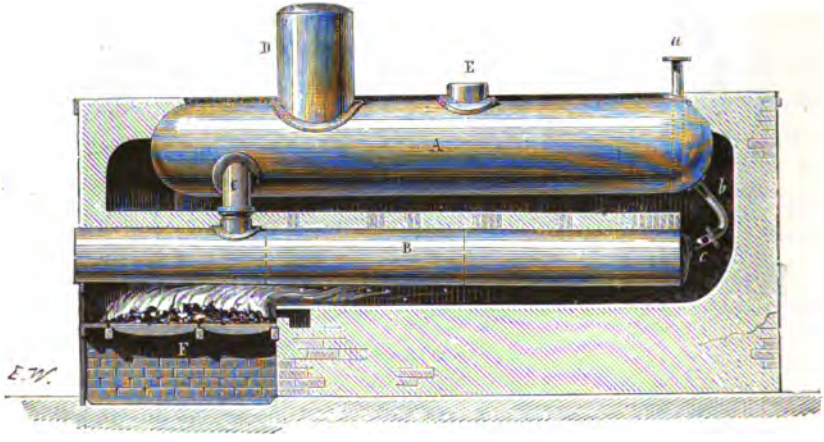


Fig. 275.

un peu abaissés vers l'arrière, afin de faciliter la formation des dépôts dans les parties les plus éloignées du foyer. Les cuissards doivent évidemment être placés sur la partie la plus élevée, et on fait arriver l'eau d'alimentation par l'autre extrémité.

1321. On a proposé et appliqué différentes dispositions pour uti-

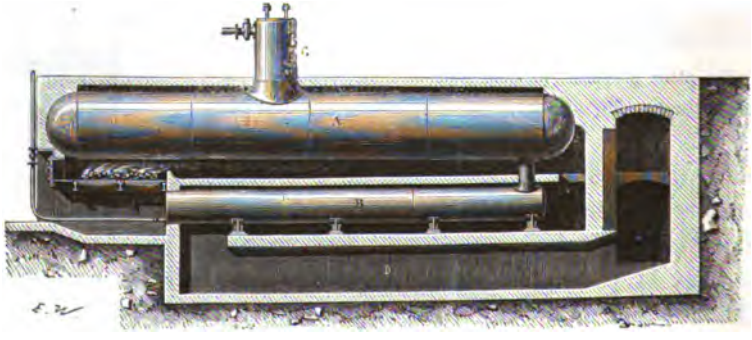


Fig. 276.

liser au chauffage de l'eau d'alimentation une partie de la chaleur

renfermée dans l'air brûlé au moment où il quitte la chaudière, sans toutefois abaisser assez la température pour que le tirage puisse en souffrir. Les figures 276 et 277 représentent une de ces dispositions, assez fréquemment employée en France et en Belgique. Les gaz sortis du foyer, après avoir chauffé la chaudière A sur toute sa longueur, descendent dans un carneau placé au niveau du sol, et dans lequel se trouvent un ou deux bouilleurs réchauffeurs paralèlles B, B'. La fumée se rend ensuite à la cheminée par un troisième carneau D placé au-dessous, ainsi que l'indiquent les figures. Souvent aussi on a placé un second étage de bouilleurs réchauffeurs dans un troisième carneau. Les tubes réchauffeurs, légèrement inclinés pour faciliter le dégagement de la vapeur, viennent déboucher dans le cendrier, l'alimentation se fait dans les bouilleurs, du côté où la fumée est le plus refroidie; la fumée se meut donc en sens inverse de l'eau. C'est le réservoir de vapeur. Cette disposition a l'inconvénient d'exposer le corps de chaudière à l'action directe du foyer, et nécessite de plus la construction d'un troisième carneau, à une certaine profondeur dans le sol, construction qui peut être coûteuse et difficile, surtout si l'on a à craindre des infiltrations.

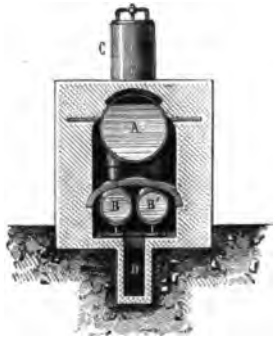


Fig. 277.

1322. En Alsace, on a employé des dispositions de bouilleurs et de bouilleurs réchauffeurs; dans la chaudière de MM. Schlumberger fils et Cie il y a six bouilleurs sous le corps de chaudière; ces bouilleurs sont disposés trois à l'avant, trois à l'arrière; la fumée circule d'abord sous les bouilleurs, puis revient de l'arrière à l'avant sous le corps de chaudière, après quoi elle circule dans deux larges carneaux placés latéralement et à la partie supérieure desquels se trouvent disposés deux bouilleurs réchauffeurs. D'après les essais consignés dans le *Bulletin de la Société de Mulhouse*, 1860, la vaporisation dans ces chaudières s'élève à 7k,69 par kilogramme de houille de Ronchamp brûlée sur la grille.

1323. La chaudière de M. Flühr (*fig.* 278) se compose d'un corps de chaudière muni de trois bouilleurs courts et étroits placés à l'avant du corps de chaudière; un seul carneau renferme tout; pour éviter l'action trop intense de la chaleur du foyer sur le masticage des tubulures des bouilleurs, celles-ci pénètrent d'une certaine quantité

dans le corps de chaudière, et le masticage se trouve ainsi placé dans l'intérieur du corps cylindrique. Trois carneaux latéraux superposés reçoivent chacun deux bouilleurs réchauffeurs placés vers le

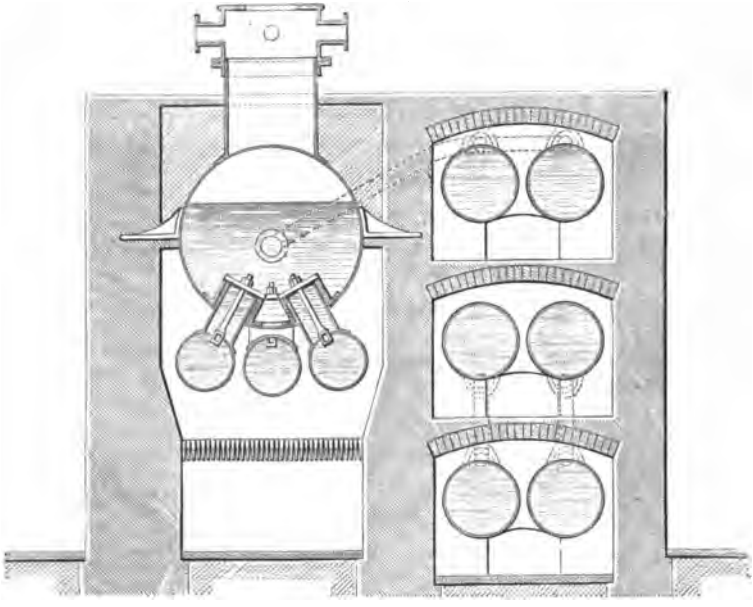


Fig. 278.

haut du carneau et à une même hauteur. La vaporisation moyenne a été de 7k,28 par kilogramme de houille (*Société de Mulhouse*, 1860).

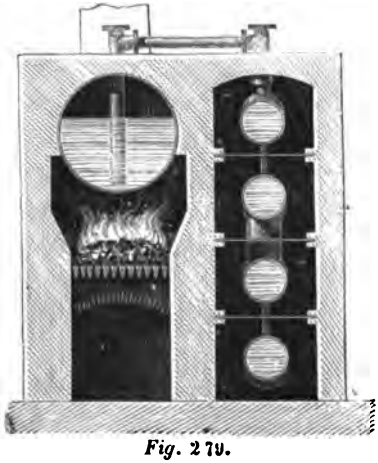


Fig. 279.

1324. Les figures 279 et 280 montrent une disposition de chaudière à réchauffeurs appliquée par M. Farcot, mais dont l'idée première se retrouve dans une chaudière présentée à l'Exposition de 1839 par M. Bourdon. La chaudière est placée directement au-dessus du foyer. Les gaz brûlés circulent tout autour avec une faible vitesse, à cause de la grande section des carneaux, et parcourent ensuite en descendant une série de galeries superposées, dans lesquelles sont placés des tubes réchauffeurs communiquant

entre eux, comme l'indique la figure 280. L'eau d'alimentation arrive dans le tube inférieur et monte successivement dans les autres, de sorte que son mouvement se produit, comme dans l'appareil précédent, en sens inverse de la fumée. Les tubes réchauffeurs sont légè-

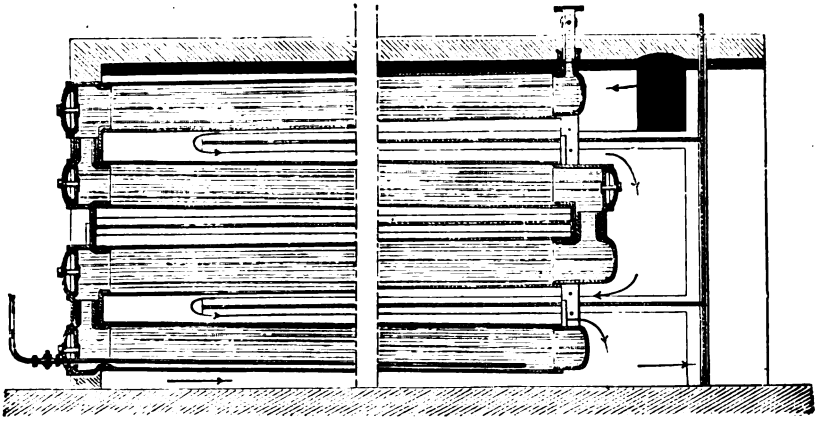


Fig. 280.

rement inclinés, afin de faciliter le dégagement de la vapeur jusqu'au tube placé en dessus. Un tuyau, qui met en communication la partie supérieure de ce dernier tube avec le bas de la chaudière, sert à introduire à la fois l'eau d'alimentation et la vapeur qui a pu se former dans les réchauffeurs. Cette disposition, qui a l'inconvénient d'exposer la chaudière au contact de la flamme, exige en outre beaucoup de place et une très-grande surface de chauffe pour une production de vapeur déterminée. Les expériences faites à l'Exposition universelle de 1855 ont constaté une production de 6k,35 de vapeur par kilogramme de houille, et de 17 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe, tandis que d'autres chaudières, de dispositions moins compliquées et moins coûteuses, ont donné de meilleurs résultats.

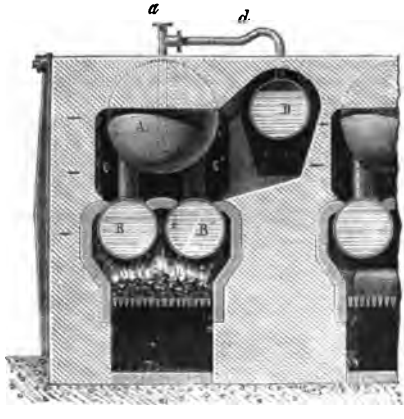


Fig. 281.

1325. La disposition (*fig.* 281) qui a été souvent employée par MM. Thomas et Laurens pour de grandes chaudières de manufactures, nous paraît préférable à celles que nous venons de décrire. Elle consiste en une chaudière ordinaire A à bouilleurs B et B′, à laquelle on a ajouté un tube réchauffeur D placé dans l'angle supérieur du fourneau. L'air brûlé, après avoir circulé autour des bouilleurs, revient en avant par les carneaux C, C′, en chauffant la chaudière sur toute la surface inférieure, et se dirige vers la cheminée par le carneau dans lequel se trouve le tube réchauffeur. De cette manière, on évite d'exposer la chaudière au rayonnement du foyer, et la position du réchauffeur est telle qu'on n'augmente que fort peu les dimensions du fourneau. L'alimentation se fait dans le réchauffeur D ; celui-ci est mis en communication avec le plongeur ordinaire par le tuyau *d*, *a*.

1326. *Chaudière de Wesserling.* — M. Marozeau, en partant du principe du réchauffeur de M. Ad. Hirn, a été amené à établir chez MM. Gros, Rodier, Roman et Cie, un système de réchauffeur formé de tubes étroits en fonte. La chaudière est représentée (*fig.* 282

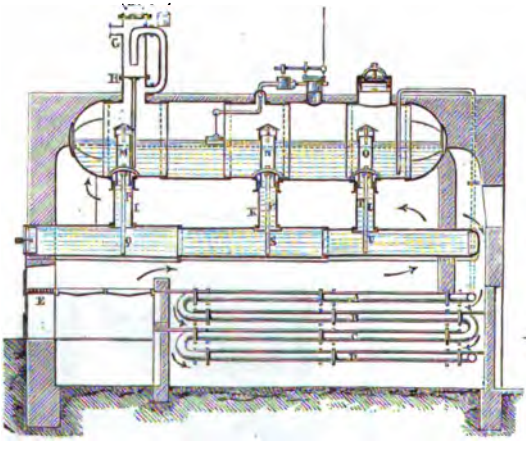


Fig. 282.

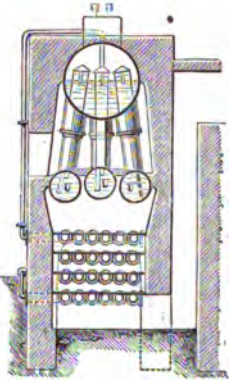


Fig. 283.

et 283) ; elle se compose d'un corps de chaudière et de trois bouilleurs placés au-dessous du corps cylindrique et à une même hauteur, une voûte est placée à la partie supérieure des bouilleurs, et une murette divise l'espace laissé autour du corps cylindrique en deux carneaux ; la fumée passe d'abord sous les bouilleurs, puis circule autour du corps de chaudière et vient ensuite dans le réchauf-

feur placé au-dessus même des bouilleurs; ce réchauffeur est formé de quatre rangées horizontales de tubes au nombre de six dans chaque rangée; ces tubes sont en fonte et ont $0^m,10$ de diamètre intérieur et $0^m,12$ de diamètre extérieur; des plaques reposant sur les tuyaux forment les canaux de passage de l'air chaud qui circule en sens inverse de l'eau d'alimentation; ces plaques peuvent être enlevées pour faciliter le nettoyage.

Comme disposition particulière de cette chaudière, il faut noter l'emploi de trois tubulures par chaque bouilleur; ces tubulures se prolongent dans le corps cylindrique jusque vers le niveau de l'eau et elles sont recouvertes d'un chapeau qui a pour but de prévenir l'entraînement et la projection de l'eau. Cette disposition qui complique la construction nous paraît peu utile.

Avec ces appareils, la fumée est refroidie jusqu'à 150 ou 180°; l'eau d'alimentation est chauffée jusqu'à 110° environ avant son entrée dans la chaudière; la vaporisation s'élève de $7^k,9$ à $8^k,9$ par kilogramme de houille.

1327. Les réchauffeurs permettent un plus grand refroidissement de la fumée; en outre, ils présentent le grand avantage d'éviter en partie les dépôts et les incrustations dans les chaudières et les bouilleurs. La précipitation des sels commence à se produire dans les réchauffeurs, qui sont bien moins sujets à se brûler puisqu'ils sont en contact avec de la fumée déjà refroidie.

1328. M. Scheurer-Kestner a étudié les altérations spéciales auxquelles sont soumis les réchauffeurs en tôle (*Bulletin de la Société de Mulhouse*, 1871).

Ces altérations sont de deux sortes et sont dues à deux causes différentes suivant qu'elles se produisent à l'intérieur ou à l'extérieur du réchauffeur.

Dans la corrosion intérieure, le fer se rouille; l'oxygène est fourni par l'air que l'eau tient en dissolution; cette oxydation est favorisée par la présence de l'acide carbonique; après quelques mois, surtout si l'eau est chargée d'acide carbonique, l'intérieur de la chaudière, et surtout à la tête des rivets, est garni d'une poudre ocreuse, mélange de carbonate et d'oxyde de fer. On comprend facilement que cette altération ne se produise qu'à peine dans les chaudières où l'ébullition immédiate chasse l'oxygène. Les eaux calcaires fournissent une oxydation plus lente. La corrosion extérieure provient de l'action des produits acides de la combustion sur le métal; tant qu'il n'y a pas condensation de l'eau que contient la fumée, l'action

est nulle ou à peu près ; aussi les gaz chauds n'agissent pas sur les chaudières ou les bouilleurs d'une façon sensible. Mais sur les parties froides des réchauffeurs l'eau se condense en dissolvant l'acide sulfureux qui passe à l'état d'acide sulfurique et attaque le fer.

A Thann, une chaudière était munie de six réchauffeurs ; dans le premier l'eau était à 15° ; dans le second à 30° ; dans le troisième à 40° et dans le quatrième à 50° ; après trois ans de marche jour et nuit, les deux premiers réchauffeurs étaient fortement attaqués, le troisième l'était peu, le quatrième n'avait presque rien ; c'est qu'en effet, l'oxygène commence à se dégager de l'eau qui le dissout à une température voisine de 40 ou 50°. En Alsace, la durée moyenne des réchauffeurs est de huit à quinze ans ; on parvient à diminuer l'attaque en recouvrant intérieurement le réchauffeur de peinture à l'huile ou de goudron ; on peut étamer l'extérieur des portions les plus froides. Il est bon, quand on le peut, d'alimenter avec les eaux de condensation déjà portées à une température de 30 à 40°, après avoir pris soin, quand cela est nécessaire, de les débarrasser des matières grasses qu'elles peuvent contenir. M. Scheurer-Kestner conseille la substitution de la fonte au fer pour la construction des réchauffeurs au moins au point de vue de la résistance aux causes d'altération indiquées plus haut.

1329. M. Beslay a construit, il y a longtemps déjà, des chaudières disposées d'une manière particulière. La chaudière de M. Beslay, destinée à produire de la vapeur à 5 atmosphères, est composée de deux bouilleurs verticaux de 3 mètres de longueur, communiquant avec une chaudière horizontale placée au-dessus. Le foyer est à coke et placé au-dessus des bouilleurs ; l'air chaud s'élève immédiatement dans une cheminée verticale qui environne les bouilleurs, mais qui est divisée en deux parties par une cloison qui sépare ces tubes. L'air brûlé circule ensuite une seule fois sous la chaudière, et s'échappe par un très-court tuyau de tôle. De la grille au sommet de cette courte cheminée la distance est de 5 mètres. La partie inférieure des bouilleurs est fermée par une pièce de cuivre, composée d'un anneau et d'une calotte réunis par une soudure forte ; l'anneau est garni d'un croisillon intérieur, fixé à une tige de fer verticale qui passe à travers une tubulure de la chaudière, où elle est fixée par un écrou. Par cette disposition, le joint du bouilleur avec la pièce de cuivre est d'autant plus étanche que la température est plus élevée, attendu que les bouilleurs se dilatent plus que la tige de fer. Chaque bouilleur renferme un tube d'un petit diamètre, qui s'ouvre

dans la chaudière et se termine près de l'extrémité inférieure ; ces tubes ont pour objet d'amener l'eau froide à la partie inférieure des bouilleurs. Enfin, à la partie supérieure, les bouilleurs se terminent par un prolongement qui s'élève dans la chaudière jusqu'à une petite distance du niveau de l'eau. On reconnaîtra facilement dans ce dispositif le principe de la chaudière Field dont nous parlons plus loin. La chaudière est munie d'une soupape à sifflet, qui est mise en mouvement par un flotteur. Le tirage de ce fourneau était très-bon ; 1 kilogramme de coke produisait 7 kilogrammes de vapeur ; et quand, par l'interruption de l'alimentation, la chaudière et les bouilleurs se vidaient, la soudure de l'anneau de cuivre et de la calotte fondait, et la projection de la calotte sur le foyer avait lieu sans produire d'autre phénomène qu'un faible bruit. Cette disposition, qui pouvait présenter certains avantages sous quelques rapports, a été totalement abandonnée.

1330. *Chaudière Field.* — Dans cette chaudière, on fixe au fond du corps supérieur des tubes d'un faible diamètre, et renfermant des tubes plus petits ouverts par les deux bouts, dont l'extrémité supérieure arrive un peu au-dessous du niveau de l'eau de la chaudière et dont la partie inférieure descend très-près du tube enveloppant; par cette disposition la vapeur s'élève dans l'intervalle des deux tubes et l'eau descend par le petit tube central; il s'établit ainsi une circulation rapide de l'eau dans le tube intérieur et autour de ce tube, circonstance favorable à la fonction de la vapeur; cette disposition a l'avantage que présente toute chaudière à faible volume d'eau pour une grande surface de chauffe, c'est-à-dire celui d'une prompte mise en vapeur. Aussi la trouve-t-on employée pour les pompes à incendie. Mais comme utilisation de combustible, elles ne présentent aucun avantage sur les bonnes chaudières, et notamment sur les chaudières tubulaires. La violence de la circulation donne de la vapeur chargée d'eau, ce qui a fait croire dans certains essais à une puissance de rendement extraordinaire. Ce mouvement rapide de l'eau empêche les dépôts et les incrustations dans les tubes ; mais ces produits solides sont emportés par la vapeur et l'eau entraînée et peuvent être portés dans les tiroirs des machines à vapeur qui seraient desservies par ces chaudières. Il ne faut donc pas les considérer comme de bonnes chaudières d'usine, quoiqu'elles puissent rendre des services dans certaines applications. Dans aucun cas, il n'y a lieu de modifier les dispositions connues ou adoptées des chaudières pour y annexer des tubes Field.

1331. Le baron Séguier a proposé vers 1834 une disposition particulière de chaudière à vapeur qui avait particulièrement pour objet d'éviter les explosions. Pour une machine de 20 chevaux, elle se composait de 16 tubes de $0^m,16$ de diamètre sur 4 mètres de longueur. Sept tubes accolés formaient un plancher, situé au-dessus du foyer ; d'autres tubes accolés trois à trois dans des plans verticaux formaient trois cloisons, placées une de chaque côté du plancher, et l'autre au milieu. Les tubes du plancher, tous parallèles entre eux, avaient une inclinaison totale de $0^m,66$. Deux foyers se trouvaient sous leurs parties les plus élevées. Tous les tubes communiquaient entre eux et avec une chaudière placée au-dessus, qui ne servait que de réservoir d'eau et de vapeur. L'ensemble de l'appareil était renfermé dans une enveloppe de tôle. Enfin, le tirage était produit par un ventilateur à force centrifuge. Cet appareil avait l'avantage d'accumuler les dépôts dans la partie des tubes qui est la moins échauffée. M. Séguier a fait éclater un des bouilleurs ; l'explosion a été faible, et tout s'est borné à un jet d'eau chaude ; mais les jets d'eau chaude et la vapeur qui se forme instantanément sont malheureusement ce qui est le plus à redouter dans les explosions, car il y a plus de morts occasionnées par leurs effets que par la projection des parties des chaudières et des corps environnants. L'expérience a démontré, comme on pouvait s'y attendre, que dans cet appareil le grand nombre de joints donnait lieu à des fuites fréquentes ; que cette chaudière exigeait plus de soin pour l'entretien et plus de temps pour le nettoyage ; que la partie supérieure des tubes, celle qui est au-dessus des foyers, restait presque constamment pleine de vapeur, et que, par suite, ces tubes étaient sujets à être brûlés. Ce système n'a point été adopté par l'industrie.

1332. M. Henschel, conseiller supérieur des mines à Cassel, a publié, en 1845, deux mémoires sur une disposition de chaudières à vapeur, ayant principalement pour but, comme la précédente, d'éviter les explosions. Cette disposition a beaucoup d'analogie avec celle de M. Séguier. Le générateur est formé de plusieurs tubes de $0^m,12$ à $0^m,15$ de diamètre, de 3 à 4 mètres de longueur, inclinés vers l'arrière à partir du foyer, communiquant ensemble et avec le tuyau d'alimentation à la partie inférieure, et vers le haut avec le réservoir de vapeur. Le niveau de l'eau, qui est toujours le même dans tous les tubes, s'observe par un flotteur placé dans un cylindre vertical, en dehors du fourneau. Cette disposition est trop compliquée et n'est nullement économique ; il y a trop de joints, trop de chances

de fuites, trop de pertes de chaleur par la voûte qui enveloppe les tubes; aussi ne s'est-elle nullement répandue.

1333. Cette idée d'une chaudière uniquement formée de tubes d'un petit diamètre contenant l'eau à vaporiser a été reprise par divers inventeurs qui n'ont pas complétement évité les inconvénients de la chaudière du baron Séguier; on rencontre un grand nombre de systèmes fondés sur ce même principe, tels sont : la chaudière Belleville, formée de tubes horizontaux, la chaudière Root, formée de tubes inclinés; la chaudière Griffith, aussi à tubes inclinés, mais présentant des réservoirs d'eau et de vapeur; la chaudière Hédiard, formée de petits bouilleurs surmontés de réservoirs d'eau et de vapeur; dans toutes ces chaudières les tubes ont de $0^m,06$ à 0,10 de diamètre; dans la chaudière Howard, les tubes sont verticaux et ont $0^m,23$. Dans la chaudière Harrisson, les éléments tubulaires sont formés de sphères en fonte de $0^m,20$ de diamètre extérieur et de $0^m,009$ d'épaisseur et réunies au moyen de boulons qui les traversent. Ces chaudières sont généralement connues sous le nom *d'inexplosibles*, parce qu'il n'est pas probable que tous les tubes viennent à rompre en même temps, quoique cela puisse arriver simultanément à un certain nombre d'entre eux, et que d'autre part des tubes d'un petit diamètre sont plus résistants que des cylindres de grand diamètre.

Il faut observer qu'en cas de rupture sur un seul point, la chaudière se viderait nécessairement par l'ouverture produite, et quelque réduit que soit le volume de l'eau qu'elle contient, si la chaudière se trouve dans un lieu fermé, il peut en résulter des accidents de brûlures mortelles par suite de la vaporisation instantanée, rendue d'autant plus affective que le poids de la chaudière est plus considérable par rapport à celui de l'eau qu'elle renferme.

D'ailleurs, le volume d'eau en général n'est pas aussi réduit qu'on pensait pouvoir le faire à l'origine. Cette réduction du volume d'eau enfermé dans des tubes étroits avait non-seulement pour but l'inexplosibilité, mais encore l'augmentation relative de la surface de chauffe, ce qui promet une prompte mise en vapeur; ce dernier résultat est d'une utilité bornée à quelques cas particuliers et n'a pas d'intérêt au point de vue de l'économie du combustible. Sous ce dernier rapport, ces chaudières, qui sont à foyer extérieur, ne peuvent faire mieux, quand toutefois elles sont agencées aussi bien que possible, que les autres chaudières également à foyer extérieur, également bien conditionnées.

A l'origine des chaudières en tubes, on comptait obtenir, à défaut du volume d'eau, la régularité de pression et d'émission de la vapeur, conditions si nécessaires à un bon travail manufacturier, au moyen d'un système d'alimentation parfaitement réglé et régulier; mais par suite des difficultés et de la fréquente insuffisance que présente ce moyen, on en est arrivé peu à peu à ne pas composer ces chaudières uniquement de petits tubes; on y a ajouté des bouilleurs, des réservoirs d'eau et de vapeur, afin de se rapprocher des conditions des autres chaudières; ajoutons que les chaudières en tubes sont sujettes à des réparations fréquentes et que leur surface de chauffe est souvent insuffisante.

Maintenant que l'on sait faire les chaudières et que l'on sait s'en servir, les explosions sont rares ; d'ailleurs aucun système n'est à l'abri des accidents qui résultent toujours de l'insuffisance de l'entretien ou de la négligence du chauffeur; la chaudière en tubes est sujette à fournir de la vapeur chargée d'eau, mais moins cependant que la chaudière Field, surtout depuis les additions qu'on y a faites; elle peut fournir une prompte mise en vapeur et occupe moins de place qu'une chaudière à bouilleurs ; ces derniers avantages peuvent, dans certains cas déterminés, les faire préférer aux chaudières ordinaires.

1334. Dans la plupart des chaudières dont nous avons parlé, l'air brûlé circule dans des carneaux horizontaux ou verticaux ; et, dans le dernier cas, le mouvement est dirigé de bas en haut. Mais on utiliserait beaucoup mieux les surfaces de chauffe en faisant mouvoir l'air brûlé de haut en bas, attendu que, quand l'air brûlé s'élève, il peut ne s'étendre que dans une partie du canal, et que, quand il marche en sens contraire, il se répartit uniformément dans toute la section du canal.

1335. On a essayé de supprimer complétement les carneaux qui font circuler les gaz chauds autour des bouilleurs et de la chaudière ; celle-ci est alors suspendue dans une enceinte en maçonnerie ; l'orifice de sortie de l'air brûlé est au niveau de la grille. Par cette disposition, les gaz, en sortant du foyer, s'élèvent verticalement, s'étalent autour des surfaces de chauffe supérieures, et descendent progressivement en se refroidissant jusqu'à l'orifice d'écoulement. Il paraît qu'on a obtenu ainsi à peu près les mêmes résultats qu'en forçant les gaz à circuler plusieurs fois autour de la surface du générateur.

1336. M. Grar, de Valenciennes, a imaginé, comme nous l'avons

déjà dit (803), de placer plusieurs grilles dans la longueur de la chaudière, et de les alimenter successivement de manière que la fumée d'un foyer récemment chargé soit obligée de passer sur plusieurs foyers, dont la houille est déjà amenée à l'état de coke. Il a obtenu facilement ce résultat à l'aide de deux registres placés aux deux extrémités de la chaudière, et qui permettent de faire varier le sens du mouvement de l'air brûlé. Dans l'une et l'autre de ces directions, les gaz, avant de se rendre dans la cheminée, parcourent un canal horizontal situé au-dessous du foyer, et qui renferme une chaudière toujours pleine d'eau. Parallèlement à ce canal se trouve un autre canal destiné à conduire l'air brûlé de l'une des extrémités de la chaudière inférieure à la cheminée qui se trouve au milieu de la longueur du fourneau. Cette chaudière ne s'est pas répandue.

1337. MM. Holcroft et Hoyle, de Manchester, ont pris une patente pour un générateur à vapeur, décrit dans le *Bulletin de la Société d'encouragement* du mois de novembre 1854. L'appareil, dont les figures 284 et 285 représentent les coupes transversale et horizon-

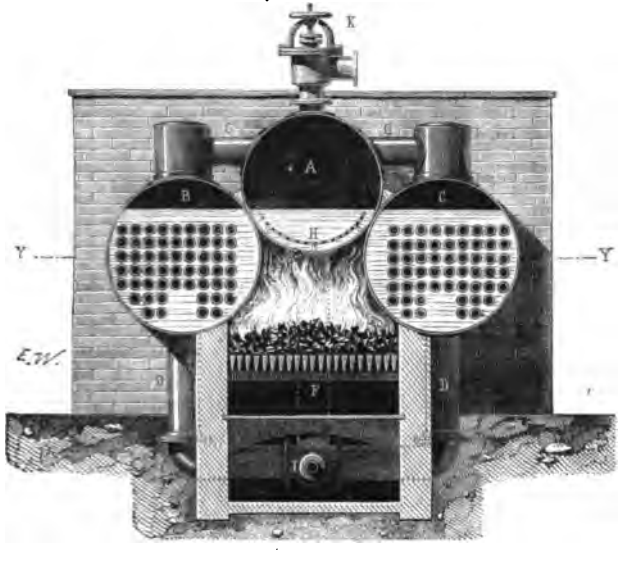


Fig. 284.

tale, est formé de trois cylindres horizontaux de même diamètre, placés de manière à envelopper le foyer. Les deux cylindres latéraux sont traversés par un grand nombre de tubes parcourus par la fumée ; les

parties inférieures des cylindres communiquent entre elles par de larges tuyaux formant le prolongement du tuyau d'alimentation; les réservoirs de vapeur communiquent aussi. La fumée, après avoir parcouru le carneau formé par l'espace laissé au-dessous du cylindre supérieur et entre les deux cylindres latéraux, revient en avant simultanément par les tubes des cylindres latéraux, d'où elle pénètre dans la cheminée qui se trouve en avant. Ce générateur a une partie

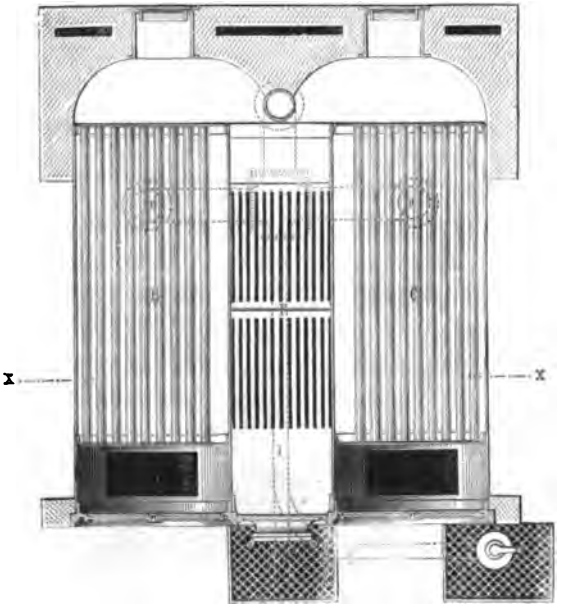


Fig. 285.

des avantages des générateurs à foyers intérieurs et à tubes, et il évite les pressions extérieurement sur les capacités qui renferment le foyer, et qui sont en général d'un assez grand diamètre. Mais il y a beaucoup de surface de chauffe perdue ; la fumée est divisée en deux courants, ce qui est une mauvaise condition, comme nous l'avons vu ; il y a une plus grande surface exposée au refroidissement ; de plus, le nettoyage extérieur des faisceaux tubulaires est à peu près impossible.

1338. Cette idée de constituer le premier carneau parcouru par la flamme avec une partie des surfaces de trois corps distincts se retrouve dans un modèle de chaudière qui a été au nombre de ceux expérimentés par Cavé en 1843 et 1844 (*Publication industrielle*

d'Armengaud, t. IV). Deux bouilleurs fort écartés entre eux sont réunis par de très-courtes tubulures, et ils portent, placée entre eux et le corps de chaudière, une cloison en briques qui achève ainsi de fermer le premier carneau. La partie inférieure du corps de chaudière et les 2/3 environ de la surface des bouilleurs étaient en parement dans ce carneau. La fumée, après ce premier parcours, se partageait en deux courants, chacun dans un carneau où se trouvaient en parement l'un des flancs de la chaudière et la surface du bouilleur correspondant. Ce modèle, quelquefois employé à cette époque, ne donna pas à Cavé d'aussi bons résultats que certains autres, parmi lesquels ne figurait encore aucun système tubulaire. On ne le rencontre guère maintenant, car on lui préfère les modèles des figures 281, 274 et 277.

1339. Cette disposition a été reprise en Belgique, par M. Paul Havrez, mais en donnant aux corps de chaudière et aux bouilleurs de plus grands diamètres. Ce modèle a été appliqué dans quelques charbonnages de ce pays ; il n'a pas de faisceaux tubulaires dans les bouilleurs latéraux comme dans le tracé Holcroft et Boyle ; il occupe donc plus de place que ce dernier pour une même surface de chauffe.

Diverses objections ont été faites au système en lui-même, lequel, du reste, ne saurait être supérieur à une chaudière à bouilleurs bien conditionnée.

1340. Les combinaisons de corps ou de chaudières accolées n'ont eu originairement pour but que d'obtenir de grandes surfaces de chauffe, en n'employant que des corps de chaudière d'un faible diamètre, afin d'éviter les fortes épaisseurs de tôle auxquelles les règlements assujettissaient les chaudières de grand diamètre. La question a perdu de son intérêt depuis que le nouveau décret ne fixe plus l'épaisseur réglementaire des tôles et que d'autres formes et dispositions ont surgi.

1341. M. Boutigny, d'Évreux, à qui on doit beaucoup d'expériences intéressantes sur l'état sphéroïdal des liquides, a présenté à l'Exposition universelle de 1855 un nouveau système de générateur, fondé sur un principe complétement opposé à toutes les idées admises. Cet appareil se compose d'un cylindre vertical, terminé à la partie inférieure par une calotte sphérique, à la partie supérieure par un couvercle boulonné, sur lequel sont placés le tuyau d'alimentation, celui d'écoulement de la vapeur, la soupape de sûreté et le manomètre. Dans l'intérieur de la chaudière se trouvent cinq diaphragmes

horizontaux, d'un diamètre peu différent de celui de la chaudière, et percés d'un grand nombre de trous. L'eau d'alimentation tombe au fond du cylindre en traversant les diaphragmes, mais elle ne doit pas s'y accumuler; un tuyau spécial est destiné à évacuer celle qui y arriverait. Le cylindre est placé au-dessus du foyer, et les gaz circulent autour de sa surface. Ainsi l'évaporation a lieu au moyen de la chaleur rayonnée par la surface de la chaudière, et qui est absorbée par les petites veines d'eau dans leur chute et par la surface des diaphragmes. Il est évident que, rien ne limitant la température de la chaudière, elle peut atteindre sans obstacle celle qui correspond à la rupture; il suffit, pour cela, que l'activité du foyer soit augmentée ou l'écoulement de la vapeur diminué. D'ailleurs, il est bien constaté par expérience, depuis qu'il existe des chaudières à vapeur, que les surfaces intérieures doivent être couvertes d'eau jusqu'au point le plus élevé de la chauffe extérieure. Malgré les expériences citées dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, ce générateur ne s'est pas répandu.

1342. *Chaudière à vapeur de M. Perkins.* — M. Perkins a imaginé, il y a déjà longtemps, un mode de chauffage des lieux habités, dont nous parlerons plus loin avec détail. Ce chauffage se fait par la circulation de l'eau, à une haute température, dans un circuit fermé, composé de tuyaux de fer d'un petit diamètre; une partie du circuit est fortement chauffée, et la circulation s'établit en vertu de la différence de densité des deux parties du circuit réunies au point le plus bas et au point le plus haut. Cet ingénieur a employé le même moyen pour chauffer l'eau d'un générateur. Pour avoir une idée nette de l'appareil de M. Perkins, imaginons un tube de fer de $0^m,012$ de diamètre intérieur, tourné en hélice dans un foyer, et une hélice semblable dans une chaudière pleine d'eau, placée à côté; supposons que les parties supérieures et inférieures des hélices communiquent par des tubes de même diamètre, et enfin qu'à la partie supérieure du circuit il y ait un cylindre d'un plus grand diamètre, hermétiquement fermé, dans lequel s'effectue la dilatation de l'eau quand elle est échauffée. Il est évident que, les deux hélices étant pleines d'eau, quand le foyer sera en activité, l'eau circulera dans le circuit; elle prendra de la chaleur dans le foyer, pour la porter dans la chaudière. Si le foyer consomme une quantité suffisante de combustible, et si les surfaces des tuyaux d'absorption et d'émission ont une assez grande étendue, le générateur pourra produire telle quantité de vapeur que l'on voudra. Dans l'appareil construit par M. Perkins, il y

avait dix-sept tubes faisant les mêmes circuits; la chaudière était rectangulaire; au-dessous se trouvait le foyer qui n'occupait qu'une partie du fond; la grille était formée de dix-sept tubes parallèles, qui descendaient au delà dans un canal, en formant trois étages horizontaux que la fumée traversait avant de se rendre dans la cheminée; les tuyaux se relevaient ensuite et pénétraient dans la chaudière, d'où ils sortaient pour rejoindre les autres extrémités des tubes formant la grille; les circuits communiquaient avec un tuyau d'un plus grand diamètre, placé au-dessus, et dans lequel s'effectuait la dilatation de l'eau.

1343. On avait prétendu que, par cette disposition, on obtenait plus de vapeur, pour la même consommation de combustible, qu'avec les chaudières ordinaires; mais il ne peut pas en être ainsi; car, pour les appareils où la combustion s'effectue dans les mêmes circonstances, l'effet utile dépend uniquement de la température à laquelle l'air brûlé est abandonné, et cette température doit être plus élevée dans l'appareil de M. Perkins que dans les autres. On serait tenté de ne voir dans cet appareil qu'une plus grande complication, et deux systèmes de surface de chauffe au lieu d'un seul. A la vérité, on a dit que par la grande vitesse de circulation de l'eau, la transmission de la chaleur était beaucoup plus grande que dans le chauffage ordinaire; mais des expériences directes n'ont pas encore confirmé cette assertion. Les dépôts ne peuvent pas se produire dans les tubes, parce que c'est toujours la même eau qui circule; et, comme ils se font toujours dans la chaudière au-dessous de la surface de chauffe, ils ne sauraient être nuisibles. Beaucoup de chaudières, établies d'après le même principe, ont été proposées, mais elles n'ont pas réussi.

Ce mode de chauffage aurait cependant l'avantage de prévenir les explosions qui résultent de l'altération des chaudières par l'action directe du feu, et celles qui proviennent de l'excès de température que prendrait la chaudière par suite de l'abaissement du niveau de l'eau. Il ne resterait alors que les chances d'explosion résultant d'un excès de pression dans la chaudière; car les tubes, qui ont toujours une grande épaisseur, offrent une très-grande résistance, et d'ailleurs la rupture d'un ou de plusieurs tubes ne produirait pas de graves accidents, à cause de la petite quantité d'eau qu'ils renferment.

Chaudières tubulaires.

1344. Les chaudières que nous avons décrites jusqu'ici sont toutes à foyer extérieur, sauf celles de Cornwall; les chaudières tubulaires sont au contraire presque toujours à foyer intérieur.

L'emploi du foyer intérieur a précédé les chaudières tubulaires; différentes considérations résultant de la destination spéciale des générateurs, y avaient conduit, comme, par exemple, dans le cas des chaudières de bateaux à vapeur, de plus comme ces appareils se rapprochent comme type des calorimètres qui permettent l'évaluation complète de la chaleur fournie par la combustion, on eut l'idée, qui fut loin d'être généralement admise, que le combustible était ainsi mieux utilisé.

1345. Si l'on considère le mode de construction des chaudières à foyer extérieur, on voit qu'elles présentent un développement considérable de surface de briques exposé au refroidissement, d'autre part une grande partie de la chaleur rayonnante du foyer, n'agissant pas directement sur la chaudière se trouvera perdue, enfin les parois en briques du fourneau sont, comme nous l'avons vu (484), perméables, et, sans même tenir compte des fissures qui peuvent se produire dans la maçonnerie, une certaine quantité d'air froid, appelé à travers les murs, viendra se mêler à l'air chaud et en réduire l'effet utile par suite de l'abaissement de température qui en résultera.

1346. On doit à M. Scheurer-Kestner (*Bulletin de la Société de Mulhouse*, 1869) des expériences très-complètes sur l'utilisation de la chaleur dans les chaudières à vapeur à foyer extérieur : il résulte de la moyenne de tous les essais qui ont été faits sur une chaudière à six bouilleurs, munie de six réchauffeurs latéraux, que la chaleur produite dans le foyer se répartit de la manière suivante :

Calories dans la vapeur	60,5 °/₀
— dans les gaz	5,5
— dans les cendres	1,5
— enlevées par les gaz non brûlés	5,0
— enlevées par le noir de fumée	0,5
— enlevées par la vapeur d'eau de la fumée	2,5
— perdues par la maçonnerie	24,5

Cette quantité considérable de chaleur perdue par le refroidissement extérieur pourra se trouver récupérée en partie si l'on emploie une chaudière à foyer intérieur bien construite ; et en composant les types les plus perfectionnés de chaudières à foyer intérieur et à foyer extérieur, M. Scheurer-Kestner arrive à cette conclusion que pour les premières l'effet utile serait de 75 p. 100, tandis qu'il ne serait que de 65 p. 100 pour les dernières.

1347. MM. Laurens et Thomas ont fait observer qu'à l'influence du refroidissement résultant du rayonnement extérieur et des rentrées d'air, il fallait ajouter celle qui provient de la façon dont la combustion s'opère. Les foyers intérieurs peuvent être en effet à température moins élevée que les foyers intérieurs; quand on y brûle de la houille, la distillation du combustible se fera moins vite et par suite plus régulièrement dans les premiers que dans les derniers, ce qui permettra une combustion plus complète et par suite une utilisation plus grande du combustible. Ici encore il y a une économie notable à réaliser puis que la quantité de chaleur perdue par combustion incomplète a été dans les expériences de M. Scheurer-Kestner de 5,5 p. 100. D'après les faits observés par MM. Laurens et Thomas dans les applications qu'ils ont faites des gaz des hauts-fourneaux et des gazogènes, les gaz à brûler doivent être soumis à une combustion prolongée et pour cela cheminer lentement, en se mélangeant à l'air dans un certain rapport de volume; la chaudière tubulaire à foyer intérieur peut, lorsqu'elle est bien construite, réaliser ces conditions.

On peut dire qu'assez généralement, si on prend la moyenne des consommations en marche industrielle, et non le résultat de quelques expériences particulières, les chaudières ordinaires à foyer extérieur vaporisent de 5 à 6 kilogrammes d'eau par kilogramme de houille, tandis que les chaudières à foyer intérieur donnent de 6 1/2 à 7 1/2 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, et que si ces dernières sont en même temps tubulaires, ce dernier chiffre peut être notablement dépassé.

Les chaudières tubulaires se rapportent à des types divers, suivant les usages auxquels elles sont destinées; nous décrirons successivement les principaux types employés.

1348. *Chaudières de locomotives.* — Les générateurs de locomotives devant avoir peu de volume et une petite hauteur de cheminée, il a fallu disposer les surfaces de chauffe de la manière la plus favorable au refroidissement rapide de la fumée, et on a dû employer un tirage artificiel pour effectuer la combustion.

C'est en 1825 que Séguin aîné établit sur un bateau à vapeur un premier type de chaudière tubulaire; il en fit ensuite l'application en 1827 et 1828 sur la première locomotive à grande vitesse qui ait existé; un brevet fut pris par lui en février 1828 pour cette dernière application. Le tirage se faisait sur la locomotive Séguin, au moyen d'un ventilateur; cette disposition peu commode fut ensuite remplacée par un jet de vapeur fourni par la vapeur de fuite des cylindres. Ce fut au concours de Liverpool, le 6 octobre 1820 que Stephenson présenta la locomotive « la Fusée » dans laquelle se trouvaient réunis l'emploi des tubes et le tirage par la vapeur de fuite. L'idée de cette dernière application est attribuée par les uns à Georges Stephenson; par les autres à Backworth. Actuellement les générateurs de locomotives sont tous disposés de la même manière; ils sont formés d'un foyer rectangulaire environné d'eau de tous les côtés; sur la surface du foyer opposé à la porte, se trouvent logés, dans une chaudière cylindrique un grand nombre de tubes en laiton d'un petit diamètre, que les gaz brûlés parcourent en sortant du foyer: au delà est une caisse fermée, désignée sous le nom de boîte à fumée, terminée à la partie supérieure par la cheminée; la vapeur qui s'échappe des cylindres moteurs par un tuyau qui s'ouvre au bas de la cheminée, et le tirage est considérablement augmenté par le jet de vapeur qui s'y produit d'une manière intermittente. Le mécanicien peut diminuer plus ou moins l'orifice de sortie de la vapeur; il augmente ainsi sa tension et sa vitesse, et par suite le tirage; mais il augmente en même temps la contre-pression derrière les pistons.

1349. Les figures 286, 287 représentent en coupes longitudinale et transversale une locomotive de Stephenson. F, foyer intérieur, dont les faces sont maintenues par un grand nombre d'entretoises: C, cendrier; T, tuyaux en laiton, ouverts par les deux bouts, et parcourus par l'air brûlé; D, tuyau d'écoulement de la vapeur détendue; H, boîte à fumée; E, cheminée; B, prise de vapeur; AA, tuyau conduisant la vapeur aux cylindres.

Nous ne nous occuperons ici que de la partie des locomotives destinée à produire la vapeur; quant aux détails relatifs au mécanisme, on les trouvera exposés dans les traités spéciaux et particulièrement dans le *Guide des mécaniciens constructeurs et conducteurs de locomotives* de MM. L. Lechatelier, F. Flachat, J. Pétiet et C. Polonceau, dans le *Traité des chemins de fer* de Perdonnet, et dans ceux plus récents de M. Couche, de M. Goschler, etc.

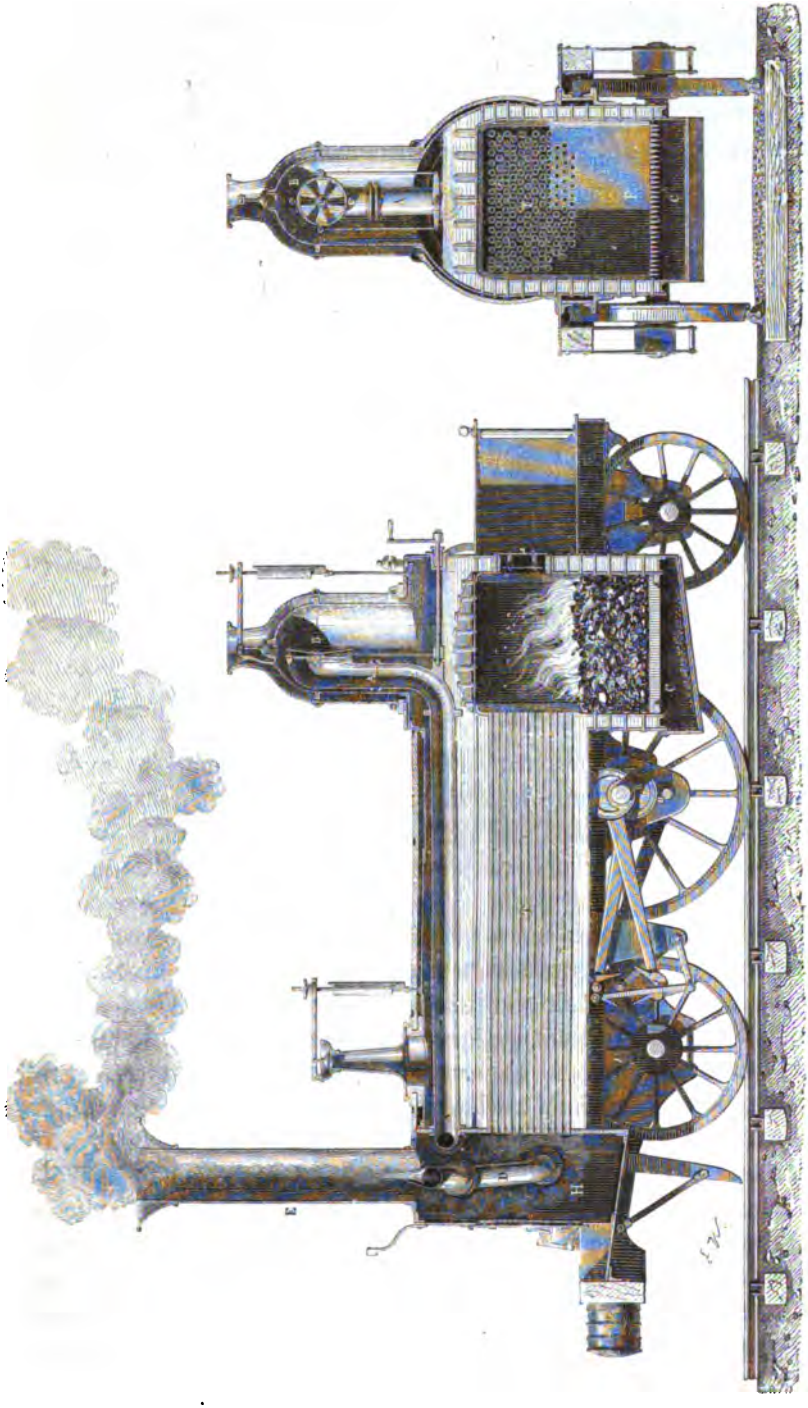


Fig. 287.

Fig. 286.

1350. Le générateur de vapeur de locomotives n'a éprouvé aucun changement bien important depuis bien des années, du moins dans sa disposition générale ; on l'a seulement perfectionné dans ses détails, et la tension de la vapeur, qui était originairement de 4 atmosphères, a été portée successivement à 5, 6, 7, 8 et 9 atmosphères.

Les grilles, dans les locomotives, ont varié de dimensions avec l'accroissement des surfaces de chauffe ; leur surface varie de $1^{mq},9$ à 2^{mq} ; la longueur des tubes de $2^{m},50$ à $4^{m},50$; leur diamètre extérieur de $0^{m},04$ à $0^{m},05$; leur épaisseur, suivant leur diamètre, est de $1^{mm},5$ à $1^{mm},75$; leur nombre varie de 100 à 300 et même exceptionnellement il atteint 400 ; les surfaces de chauffe des foyers sont comprises entre 5^{mq} et $8^{mq},50$; la surface de chauffe des tubes varie de 57^{mq} à 117^{mq} et peut s'élever à 144^{mq} ; le diamètre de la cheminée est compris entre $0^{m},33$ et $0^{m},55$; sa hauteur au-dessus de la boîte à fumée varie de $1^{m},60$ à 2 mètres. La consommation de coke, par heure et par décimètre carré de surface de grille, est d'environ 4 kilogrammes dans les machines à grande vitesse. Il résulte des nombreuses expériences faites par plusieurs habiles ingénieurs et qui sont rapportées dans le *Guide du mécanicien*, que la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de coke varie entre 9 et 10^{k}, mais cette vapeur renferme de 0,30 à 0,40 d'eau. La consommation de coke par kilomètre parcouru varie, pour une même machine avec la saison, le vent, la charge des trains ; mais la consommation moyenne s'éloigne peu de 9^{k}. Enfin, d'après les expériences de MM. Gouin et Lechatelier, la température des gaz au sortir des tubes est peu différente de 400°.

1351. Ces nombres nous permettent d'obtenir une évaluation assez approchée du travail de la vapeur pour produire le tirage. Nous prendrons pour exemple une machine type de Stephenson, sur laquelle M. Polonceau a fait quelques expériences manométriques dont nous parlerons bientôt. La machine renfermait 139 tubes, ayant chacun $0^{m},037$ de diamètre intérieur ; la section d'un tube était égale à $0^{mq},00107$ et la somme de leurs sections était de $0^{mq},15$. Le diamètre de la cheminée était égal à $0^{m},33$ et sa section à $0^{mq},0855$. La machine faisait de 40 à 50 kilomètres à l'heure, et sa vitesse moyenne était égale à $45000 : 3600 = 12^{m},50$. En admettant une consommation de coke de 9^{k} par kilomètre, la consommation par seconde était de $0^{k},112$. Si l'oxygène de l'air est complétement transformé en acide carbonique, et c'est là ce qui se passe ordinairement

dans les chaudières de locomotive, comme cela résulte des expériences citées au n° 861. Le volume d'air qui pénétrera dans le foyer sera égal à 9 . 0,112 = 1^{mc},008; et le même poids d'air dilaté par l'élévation de température, devra sortir par la cheminée ; son poids à l'entrée sera de 1,008 . 1,3 = 1^{k},31, et dans la cheminée de 1,31 + 0,112 = 1^{k},422. En supposant que chaque kilogramme de coke produise 6^{k} de vapeur sèche, le poids de la vapeur produite dans une seconde sera 0,112 . 6 = 0^{k},672, et son volume sera 0,672 . 1,7 = 1^{mc},14. Les capacités calorifiques de l'air et de la vapeur étant de 0,24 et 0,475, et les températures étant de 400° et de 100°, la température du mélange sera de

$$\frac{1,42 \,.\, 0,24 \,.\, 400 + 0,672 \,.\, 0,475 \,.\, 100}{1,42 \,.\, 0,24 + 0,672 \,.\, 0,475} = 254^{\circ}.$$

Ainsi les volumes d'air et de vapeur qui devront s'écouler par la cheminée par seconde seront de 1^{mc},008 . (1 + 0,00366 . 254) = 1^{mc},94, et 1,14 (1 + 0,00366 . 254) = 2^{mc},20. La somme de ces deux volumes étant de 4^{mc},14, et la section de la cheminée étant de 0^{mq},0855, la vitesse d'écoulement sera de 49^{m},59. Comme le poids de l'air est de 1^{k},422, le travail dépensé pour l'appel d'air est de 1,422 . $(49,59)^{2}$: 19,62 = 178^{km} ou 2,37 chevaux vapeur. Mais la dépense de travail est un peu plus considérable, attendu que l'air participant au mouvement de translation, la vitesse réelle de l'écoulement est égale à la racine carrée de la somme des carrés des vitesses verticales et horizontales, et par conséquent à la racine carrée de 2459 + 156,25 qui est 51^{m},13, et le travail devient 189^{km}, ou, en chevaux, 2,52.

1352. Mais le travail du tirage se compose non-seulement de celui qui correspond à la vitesse effective imprimée à l'air qui s'écoule, mais encore de toutes les résistances qui se produisent dans le trajet de l'air, depuis son entrée dans le cendrier jusqu'à sa sortie de la cheminée, résistances qui occasionnent des pertes de travail très-considérables.

Si l'air était lancé dans le foyer sous une pression P, cette pression irait en s'affaiblissant par les résistances, de manière à être réduite à p à l'extrémité de la cheminée ; la vapeur de P se composerait de la charge p correspondante à la vitesse et d'une pression p_1, qui disparaîtrait successivement par la détente. Si le gaz, au lieu d'être comprimé dans le cendrier, était poussé dehors par une action produite dans la cheminée, il se produirait dans la boîte à feu une

détente sensiblement égale à la pression P, qui devrait se produire dans le cendrier pour effectuer le même mouvement, du moins quand les détentes et les compressions sont assez petites pour ne pas changer sensiblement la densité du gaz. Dans le premier cas, la charge dans le cendrier se composerait de la charge p, correspondant à l'écoulement à l'extrémité de la cheminée, de la résistance G de la grille, de la résistance R dans les tuyaux, de la perte de charge R′ par l'accroissement de section de la boîte à fumée, et enfin de la résistance de la cheminée, qu'on peut négliger comme étant très-petite relativement aux autres résistances. Dans le cas d'un appel par la cheminée, la détente produite dans la boîte à fumée sera égale à $p + R + R' + G$ et la détente dans le foyer sera égale à $p + G$. En désignant par s et s' les sections de la cheminée et des tubes, par δ et δ' les densités de l'air dans la cheminée et dans les tubes, la valeur de R, d'après ce que nous avons dit (476), sera

$$R = \frac{Kl}{d} \cdot \frac{s^2}{s'^2} \cdot \frac{\delta^2}{\delta'^2} \cdot p.$$

Or, comme on a

$$\frac{s^2}{s'^2} = \frac{D^4}{n^2 d^4}; \quad \text{et} \quad \frac{\delta^2}{\delta'^2} = \left(\frac{1 + at'}{1 + at}\right)^2$$

l'expression de la résistance devient

$$R = \frac{Kl}{d} \cdot \frac{D^4}{n^2 d^4} \left(\frac{1 + at'}{1 + at}\right)^2$$

Quant à la valeur de R′, elle est donnée par la formule du n°4 48, et comme, dans ce cas particulier, l'accroissement de section est très-considérable, la perte de charge se réduit à la charge correspondant à la vitesse dans les tuyaux; on a donc

$$R' = \frac{D^4}{n^2 d^4} \cdot \frac{(1 + at')^2}{(1 + at)^2} p.$$

Essayons d'appliquer ces calculs au cas particulier que nous avons choisi; on aura

$$K = 0{,}024; \quad l = 4^m; \quad d = 0{,}037; \quad n = 130; \quad D = 0{,}33;$$
$$t' = \frac{1000 + 400}{2} = 700^\circ; \quad t = 254^\circ.$$

D'après ces nombres on trouve pour la résistance des tuyaux :

$$2,594 \,.\, 0,316 \,.\, 3,4p = 2,85p$$

et pour la charge correspondante aux vitesses :

$$0,316 \,.\, 3,4p = 1,08p,$$

par suite la charge totale sera :

$$p + 2,85p + 1,08p + Gp = 4,93p + Gp.$$

1353. Cette valeur de la charge P renferme la résistance G du foyer qui n'est pas connue ; mais on peut en obtenir une valeur approchée, d'après les résultats des expériences manométriques faites par M. Polonceau et par les ingénieurs du chemin de fer du Nord (*Guide du mécanicien constructeur et conducteur de locomotives*). M. Polonceau a fait vingt-quatre expériences sur la dépression des gaz dans la boîte à fumée et dans le foyer, observée à l'aide d'un manomètre à eau sur la machine dont nous nous sommes occupés ; le tuyau d'échappement étant plus ou moins ouvert, et la détente plus ou moins grande, la dépression dans le foyer a varié de $0^m,058$ à $0^m,016$.

Le volume d'air qui s'écoule dans la cheminée étant de $1^{mc},94$ et la section de $0^{mq},855$, la vitesse d'écoulement de l'air dans la cheminée est de $22^m,7$, on en tire $p = \frac{v^2}{2g} = 26^m,2$; cette colonne de $26^m,2$ d'air à 254° équivaut à une colonne d'eau de $0^m,0023$, la valeur moyenne de la dépression dans le foyer étant de $0^m,037$; on voit qu'elle équivaut sensiblement à $16\,p$; il faudrait retrancher de cette quantité la perte de charge due à la vitesse dans le foyer qui serait à peu près de $2p$, mais il faut observer que nous avons négligé dans l'évaluation des autres résistances la perte de charge due au rétrécissement du passage à l'entrée des tubes et à l'entrée de la cheminée, ainsi que le frottement dans la cheminée ; on peut admettre que ces deux erreurs se compensent et la perte de charge totale sera représentée par $P = 4,93\,p + 16\,p = 20,93\,p$ ou sensiblement $21\,p$.

Cette évaluation n'est évidemment que très-approximative et cependant on verra qu'elle ne s'éloigne pas beaucoup de la vérité si on la compare avec les résultats que nous avons trouvés pour les cheminées des bateaux à vapeur (584). Nous avons obtenu dans ce

cas $1 + R = 28$, c'est-à-dire que la perte de charge totale est exprimée par $28\,p$. Les chaudières de bateaux présentent avec celles des locomotives une assez grande analogie au point de vue des résistances et on peut s'expliquer la différence observée par une plus grande résistance à travers la grille, le combustible employé sur les bateaux étant la houille qui s'agglutine plus ou moins et présente des passages d'air moins réguliers que ceux fournis par le coke.

1354. Les calculs que nous venons de faire, quoique sur un cas particulier, permettent d'établir que le travail résultant du tirage est environ 20 à $25\,p$, et par conséquent qu'il est réellement plus petit que dans le plus grand nombre des générateurs fixes, où il est à peu près double. Ce résultat singulier provient de ce que la somme des sections des tubes étant plus grande que la section de la cheminée réservée à l'écoulement de l'air, il en résulte que le frottement dans les tubes est très-petit, et que la résistance du foyer est beaucoup plus petite qu'on ne le pensait d'après la quantité de coke brûlé par décimètre carré, quantité qui s'élève à 4^k. La faible résistance du foyer provient de ce que la boîte à feu ayant une assez grande hauteur et se trouvant à une température très-élevée, probablement de 1000°, l'air extérieur tend à y pénétrer avec une certaine vitesse; et enfin, et c'est la cause la plus influente, de ce que, le cendrier étant ouvert en avant, l'air tend à y pénétrer avec la vitesse même de la locomotive.

Il est évident qu'au travail provenant du mouvement ascensionnel des gaz qui est Pq, q étant le poids des gaz écoulé par seconde, il faudrait ajouter le travail $\frac{qv^2}{2g}$, résultant du mouvement de translation. Dans le cas particulier que nous avons considéré, le poids de l'air est $1^k,422$; or nous avons $p = 26,2$ on aura donc $Pq = 21 \times 26,2 \times 1,422 = 784^{km}$; la vitesse de translation étant de $12^m,5$, la valeur de $\frac{qv^2}{2g}$ sera de 11^{km} et par suite le travail total sera de 794^{km}, ce qui représente à peu près 11 chevaux.

1355. Nous avons exposé aux n°s 720 et suivants les résultats obtenus par MM. Nozo et Geoffroy relativement au tirage par jet de vapeur et qui permettent de déterminer la quantité de vapeur nécessaire à obtenir un appel d'air déterminé.

1356. M. Cadiat, dans un brevet pris en 1851, a proposé de recourber le tuyau de la cheminée de manière que l'écoulement du mélange de gaz et de vapeur ait lieu en sens contraire du mouvement

de la locomotive; on utiliserait ainsi, par la réaction sur le fond du tuyau, le travail de l'écoulement. Dans le cas particulier que nous avons étudié (1351), le travail provenant de la réaction serait équivalent à 2,5 chevaux vapeur; la machine consommant $0^k,112$ de coke par seconde, ou $0,112 . 3600 = 403^k2$ par heure, produit certainement plus de 100 chevaux de force; ainsi, l'économie qu'on retirerait de cette disposition, même dans le cas le plus favorable, serait peu importante, d'autant plus que le changement de direction des gaz augmenterait la résistance et diminuerait probablement l'effet produit par le jet de vapeur.

1357. En France et en Angleterre, on n'employait, il y a quelques années, que du coke pour le service des locomotives, principalement en vue de la régularité du service et pour éviter la fumée, et même en ces derniers temps on exigeait du coke ne produisant qu'une petite quantité de cendres. Mais il est évident que tous les combustibles pourraient être employés. En Autriche, sur les chemins du Nord, les locomotives sont alimentées avec du bois. D'après des essais faits en 1844, 100^k de coke peuvent être remplacés par $0^{mc},676$ de bois de pin, ou $0^{mc},540$ de bois de chêne, ou 225^k de tourbe. En Bohême, où l'on ne trouve guère de houilles propres à la fabrication du coke, on a reconnu que la houille, les lignites et le bois pouvaient être substitués au coke sans inconvénient.

En Bavière, les locomotives sont alimentées, tantôt avec du bois, tantôt avec de la tourbe, suivant les contrées que traversent les chemins de fer.

1358. Il y a quelques années, on a fait en Angleterre de nombreux essais pour remplacer le coke par différentes espèces de houille, en augmentant à peu près de moitié la longueur du foyer. Les houilles grasses obstruant la grille diminuaient beaucoup le tirage, produisaient beaucoup de fumée, et la consommation de houille était beaucoup plus considérable que celle de coke. Avec des houilles maigres, on évitait la fumée ; mais ces houilles se divisaient en petits fragments par l'action de la chaleur, une partie passant à travers la grille et une autre partie dans la boîte à fumée; on a été ainsi obligé de renoncer à l'emploi des houilles maigres, et on en revint à l'usage du coke.

Mais cet insuccès ne fit qu'ajourner la solution d'une question que les circonstances devaient imposer, quelqu'imparfaite qu'elle fût.

En effet, le développement sans cesse croissant des chemins de

fer, l'augmentation de consommation de combustible qui en résultait, ne permettaient plus de s'astreindre à l'emploi exclusif du coke, dont le prix croissant avec la demande aurait fort surchargé les frais d'exploitation. Aussi la question de l'emploi de la houille fut-elle bientôt reprise en France, et aujourd'hui on peut dire que la presque totalité de la consommation des chemins de fer a lieu avec de la houille; le coke a complétement disparu; les briquettes forment, suivant les compagnies, une fraction plus ou moins notable du poids du combustible consommé. Des essais persistants eurent lieu en 1855 et 1856 au chemin de fer du Nord et au chemin de fer d'Orléans pour brûler de la houille avec la grille à gradins de MM. de Marsilly et Chobzinski (806); mais si les inconvénients de cette disposition, que nous avons signalés, l'ont fait abandonner, il n'en est pas moins certain que ces ingénieurs ont mis en évidence la possibilité de substituer la houille au coke, tout en satisfaisant aux conditions d'un bon service, et qu'ils ont démontré l'économie considérable qui résulte de cette substitution.

1359. On s'est en même temps préoccupé de rendre fumivores les foyers à houille des locomotives; diverses dispositions ont été essayées. Ainsi on a placé en travers de la boîte à feu, au-dessus de la grille, un bouilleur méplat qui devait servir, en forçant les gaz à faire deux mouvements avant d'entrer dans les tubes, à assurer un mélange plus complet et par suite à achever la combustion dans la boîte à feu. Mais les gaz n'étaient point complétement brûlés, et le bouilleur introduit dans la boîte à feu était sujet à des fuites; dans un autre agencement analogue, on ajoutait des accès d'air neuf, en filets minces, dans la flamme; mais les appareils nécessaires pour produire cet effet n'ont point résisté à l'usage.

On n'est donc pas parvenu à rendre fumivores les foyers des locomotives qui brûlent de la houille ou des briquettes. La pratique généralement en usage consiste à faire ce que nous avons indiqué pour les foyers fixes, c'est-à-dire à charger la houille par devant et à pousser le combustible vers l'arrière au fur et à mesure qu'il passe à l'état de coke; de plus, à procéder à l'alimentation du foyer par petites charges et à ne pas couvrir la grille d'une grande épaisseur de houille. Les chaudières de locomotives, avec leur constitution actuelle, sont donc toujours plus ou moins fumeuses quand elles brûlent de la houille; les soins du chauffeur peuvent seuls arriver à diminuer la fumée sans la détruire.

1360. On brûle même dans les locomotives des houilles menues,

de qualité inférieure avec la disposition de grille imaginée par M. Belpaire, ingénieur en chef aux chemins de fer belges, ancien élève de l'École centrale. La grille composée de barreaux minces est sensiblement plus longue et on y charge les combustibles en couche mince ; le décrassage se fait par le dessous de la grille ; le seuil de la porte est au niveau de celle-ci.

On a essayé d'incliner la grille légèrement vers son extrémité et de la terminer par une courte grille-bascule, afin de permettre au chauffeur, qui fait cheminer le charbon comme nous l'avons dit, de jeter les escarbilles quand elles sont accumulées au fond du foyer; mais on y a bientôt renoncé parce que le jeu de bascule des grilles faisait perdre du charbon qui s'écoulait en même temps que les cendres.

On peut faire diverses observations au sujet de ces chaudières ; la combustion des gaz devrait s'effectuer complétement dans la boîte à feu, car ils s'éteignent dès qu'ils entrent dans les petits tubes ; on ne saurait donc atteindre ce résultat d'une manière constante avec une flamme droite surtout, parce qu'il devrait être alors instantané. Si, pour augmenter la surface de chauffe, on augmentait le nombre des tubes, et que leur section totale fût notablement plus grande que celle qui est nécessaire, il pourrait arriver que l'air brûlé se répartît fort inégalement entre tous ces tubes et même ne passât pas du tout dans certains d'entre eux; leur faisceau compacte de 150, 200 et même 300 tubes de $0^{m},045$ à $0^{m},050$ de diamètre extérieur, placés sur 12, 15 et parfois 18 rangs en hauteur, et de plus écartés entre eux de $13^{mm},5$ à 15^{mm}, tout en étant favorable à une prompte vaporisation donne un faible passage à la vapeur, circonstance qui est favorable à l'entraînement de l'eau.

1361. On a cherché au chemin de fer du Nord à sécher la vapeur au moyen de la fumée, les moyens essayés à cet égard ne se sont pas répandus.

On estime toujours l'eau entraînée à 24 p. 100 au minimum, et à 40 p. 100 au maximum. La vaporisation, dans diverses expériences, s'est élevée de 27 à 30 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe et par heure; elle a dépassé 40 kilogrammes en marche forcée.

1362. Il est impossible de débarrasser ces faisceaux de tubes des dépôts qui se forment par suite de la vaporisation de l'eau et qui réduisent considérablement la transmission de la chaleur. On a essayé des lavages à l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique ; ce pro-

cédé présente des inconvénients graves, comme nous l'avons déjà vu, et il a été abandonné; on a essayé d'autre part les désincrustants qui se sont montrés des palliatifs insuffisants, le faisceau se remplissant alors complétement d'une matière boueuse plus ou moins épaisse. La pratique a conduit à rechercher pour l'alimentation des eaux courantes aussi pures que possible qu'on est allé chercher parfois bien loin des stations; quoique plus pures que les eaux de puits, elles donnent encore lieu à des enduits plus ou moins adhérents. On a pensé à un moyen plus radical consistant dans la purification préalable de l'eau d'alimentation, on n'agissait d'abord que sur les sels de chaux et il restait une quantité notable de sels formant encore des dépôts légers; le nettoyage se trouve ainsi retardé sans être rendu plus facile. Les procédés Bérenger et Stingl que nous avons exposés plus haut permettent une purification plus complète encore, mais qui cependant ne peut être absolue.

Les locomotives sont ramenées aux ateliers très-fréquemment pour le lavage à grande eau de leur chaudière; c'est un nettoyage imparfait qui ne peut avoir d'action que sur les dépôts dépourvus de toute adhérence et provenant d'eaux déjà assez pures; cette manière de procéder n'est possible d'ailleurs que pour des compagnies qui disposent d'un nombreux matériel de machines.

1363. Toutes ces observations n'ont pas échappé aux ingénieurs des chemins de fer, mais les nécessités de service, certaines obligations d'emplacement et de dispositions des machines ne facilitent pas des modifications dans l'installation d'un faisceau tubulaire d'un nettoyage facile, ce qui serait désirable.

1364. Les faisceaux tubulaires des locomotives sont en laiton; les tubes ont habituellement une épaisseur décroissante depuis la boîte à feu jusqu'à la boîte à fumée, avec une surépaisseur sur l'extrémité qui aboutit à la boîte à fumée pour obtenir une meilleure résistance au baguage. Du côté de la boîte à feu l'épaisseur est d'environ 2^{mm} 3/4; la portion forte de l'autre bout a la même épaisseur et la partie mince de ce côté a $1^{mm},75$, pour les tubes de $0^{m},05$ de diamètre extérieur. La bague qui serre les tubes est en acier seulement du côté de la boîte à fumée, de l'autre côté elle est formée par un mandrin conique; aux deux bouts l'un des bords est rabattu.

1365. La boîte à feu est toujours en cuivre rouge d'environ 12 millimètres d'épaisseur; ses parois sont placées et renforcées de nombreuses entretoises et d'armatures; la plaque tubulaire du fond qui est

plate, a environ 25 millimètres d'épaisseur; ces plaques sont sujettes à se gondoler, malgré leur épaisseur et les mesures prises pour les renforcer. On a essayé de faire la boîte à feu en tôle d'acier : soit que l'acier ne fût pas assez doux, soit qu'il ne pût pas être employé pour des formes aussi tourmentées, il s'est présenté des ruptures et des déchirures qui l'ont fait rejeter. Avec une boîte à fumée en acier, il faudrait que le chauffeur eût le soin de ne pas l'exposer à des refroidissements subits, surtout lorsqu'il jette bas son feu. On a pu avoir en service des calandres de chaudière en tôle d'acier; on leur donnait un épaisseur moindre de 1/3 de celles qu'elles ont lorsqu'elles sont en fer et qui est alors de 12 millimètres.

1366. On a observé qu'à l'intérieur des calandres en fer, il se produisait par places assez nombreuses, mais à la longue, des érosions qui font mettre ces tôles hors de service quand, aux points attaqués, l'épaisseur est réduite à 6 ou 7 millimètres; le même fait s'est présenté pour les calandres en acier et l'érosion paraît n'y marcher ni plus vite ni plus lentement. Si donc on abandonnait 4 millimètres à l'érosion pour les tôles d'acier, celles-ci, réduites à 4 millimètres, résisteraient autant que les tôles de fer de 6 millimètres, et leur durée en service serait aussi longue. Il paraît cependant qu'on a été amené à la faire plus courte, ce qui a constitué un désavantage pour l'acier.

La cause de ces érosions est difficile à déterminer, on l'avait attribuée dans les locomotives à une action voltaïque résultant de la présence simultanée du cuivre et du fer dans la construction de la chaudière, mais cette altération s'est retrouvée dans des chaudières où il n'entre ni cuivre ni laiton. On s'est rejeté alors sur l'hétérogénéité du métal dont les parties de composition différente en contact auraient constitué des couples voltaïques aux divers points de la chaudière ; mais ces altérations se sont présentées avec les chaudières d'acier; d'ailleurs, la nature, la dimension et la forme des érosions paraît varier même pour des chaudières construites avec les mêmes tôles et alimentées avec la même eau. L'explication nette du phénomène est encore à trouver.

La durée des calandres en fer des chaudières de locomotives est de 15 à 20 années.

1367. *Chaudières d'usine.* — Dans les locomotives, on a cherché à avoir le moindre poids d'eau pour la plus grande surface de chauffe possible. Cette condition n'a point d'intérêt quand il s'agit des chau-

dières d'usine; elle y présenterait au contraire des inconvénients qui ne se rencontrent qu'à un faible degré sur les locomotives, toujours dirigées par un mécanicien et un chauffeur habiles, et dont les variations de travail sont en général connues à l'avance.

Cependant les avantages de la chaudière tubulaire à foyer intérieur peuvent être utilisés par l'industrie usinière. Aussi rencontre-t-on maintenant un assez grand nombre de chaudières de ce genre dans les usines; on peut les ramener à deux types principaux; la chaudière à parcours direct de la flamme, comme on le voit dans les chaudières de locomotives, et la chaudière à retour de flamme.

Parlons d'abord de la chaudière à parcours direct qui se rattache de plus près au sujet que nous venons de traiter.

On a établi dans quelques sucreries de véritables chaudières de locomotives, en les chauffant à la houille. Un modèle de ces chaudières présentait un faisceau de 103 tubes en fer de 70 millimètres de diamètre extérieur et de 5 mètres de longueur. Le constructeur qui avait fait ces installations, ne les a pas généralisées dans ses entreprises ultérieures.

1368. Pour éviter que la plaque tubulaire ne fût exposée tout entière à la vue du feu et aussi pour favoriser la combustion des gaz, Fairbairn a proposé un modèle disposé de la façon suivante : c'est une chaudière de Cornwall à deux tubes, mais ceux-ci n'ont que la longueur des grilles qu'ils contiennent, ils aboutissent dans une chambre en tôle à section transversale elliptique et qu'on appelle chambre de combustion ; la plaque de fond de cette chambre est la plaque tubulaire ordinaire de laquelle part le faisceau tubulaire pour déboucher dans une boîte à fumée semblable à celles des locomotives. Voici les dimensions d'une chaudière de ce genre pour une surface de chauffe intérieure de 100 mètres carrés.

Le corps de chaudière a $1^m,92$ de diamètre et $7^m,40$ de longueur, les deux tubes foyers ont $0^m,74$ de diamètre et $2^m,66$ de longueur. Les grilles ont $1^m,70$ de longueur; la chambre de combustion a $1^m,66$ de diamètre horizontal, $0^m,98$ de diamètre vertical et $1^m,20$ de longueur. Les tubes en fer ont 76 millimètres de diamètre, leur longueur entre les plaques est de $3^m,55$, leur nombre est de 105, la longueur de la boîte à fumée est de $0^m,68$.

Ces chaudières, souvent timbrées à 5 ou 6 atmosphères, exigent des tôles épaisses et des armatures spéciales pour la chambre elliptique; il en résulte qu'elles sont fort lourdes, on en rencon-

tre un certain nombre dans la Prusse Rhénane et en Belgique.

1369. Dans un autre modèle anglais, on a pris la chaudière Cornwall à un seul tube de 1m,15 à 1m,20 de diamètre, en le terminant, à une assez grande distance de la grille, par la plaque tubulaire ordinaire dans laquelle est implanté un faisceau tubulaire de 90 à 100 tubes plus courts que dans le cas précédent; la chambre elliptique de combustion du cas précédent se trouve ici supprimée.

Ces deux modèles de chaudière ne se voient pas fréquemment en Angleterre.

1370. On trouve quelquefois un modèle de chaudières analogue où la grille est placée dans un tube elliptique qui se prolonge un peu au delà de celle-ci, de façon à faire une chambre de combustion, trop courte cependant, dont la plaque tubulaire n'est plus qu'en partie hors de la vue du feu. Cette forme oblige à surcharger le foyer d'armatures. Le faisceau tubulaire, semblable aux précédents, est à la suite du foyer.

On a souvent placé dans les tubes intérieurs des chaudières du système Cornwall des tubes transversaux placés obliquement et en chicane : ces tubes, de Galloway, sont coniques et évasés vers la partie supérieure ; ils mélangent les gaz et augmentent un peu le rendement des générateurs ; on peut aussi leur assigner une certaine utilité en ce qu'ils servent d'armatures et augmentent la résistance à l'écrasement du tube dans lequel ils sont placés.

M. Fairbairn propose de couper les tubes intérieurs des chaudières en tronçons d'environ 3 mètres de long, réunis par des cornières rivées qui forment nervure et augmentent la résistance ; mais ce procédé donne une surépaisseur et des têtes de rivets exposées au feu. Il nous paraît préférable d'employer un procédé qui a été indiqué pour la première fois, en 1849, dans un brevet au nom de MM. Mazeline frères, et qui consiste à relever extérieurement des pinces sur le bord des tronçons, en interposant entre elles une rondelle de fer qui forme nervure et sur laquelle sont rivés les deux bords relevés des tôles ; par ce moyen, la nervure et les têtes de rivets sont dans l'eau et ne sont pas exposées aux coups de feu.

1371. On peut faire au modèle Fairbairn et aux similaires les mêmes objections qu'au type des locomotives. Le faisceau tubulaire compacte est également inaccessible au nettoyage, le volume d'eau est réduit, mais la plaque tubulaire y est préservée contre les coups de feu.

1372. On appelle chaudières tubulaires à retour celles dans lesquelles les tubes ne reçoivent l'air brûlé qu'à son deuxième parcours, en retour du côté du foyer. Cette disposition a son point de départ dans les chaudières tubulaires de la marine, où la nécessité d'avoir des chaudières assez courtes la fit imaginer. Toutefois, dans ces dernières, on voit encore le faisceau compacte de tubes, comme dans les locomotives; le type des chaudières à retour, que nous allons décrire et qui est dû à MM. Laurens et Thomas, diffère de tous les autres par un certain nombre de conditions essentielles.

Dans ce type les auteurs se sont proposé plusieurs buts à atteindre: rendre le foyer et le faisceau tubulaire amovibles, c'est-à-dire pouvant être retirés pour faciliter la visite et le nettoyage; remplacer le faisceau tubulaire compacte des locomotives par un arrangement des tubes qui rende la surface extérieure de ceux-ci accessible; obtenir dans la chaudière un volume d'eau qui soit indépendant du développement de la surface tubulaire et auquel on puisse donner l'extension propre à éviter les variations de pression qu'un débit variable de vapeur rend si fréquentes dans la généralité des applications

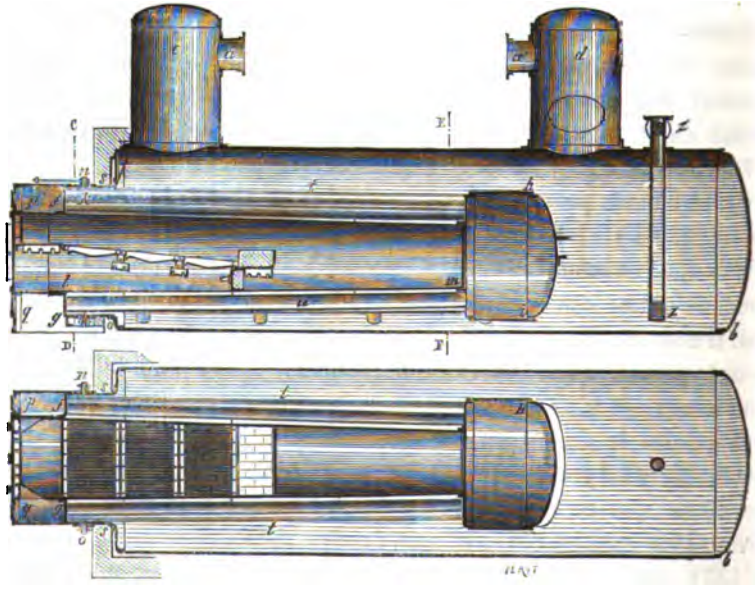


Fig. 288. *Fig.* 289.

industrielles. La chaudière représentée fig. 288, 289 et 290 se compose de deux parties : l'une *a b c d* comprenant la calandre et les

accessoires ordinaires d'une chaudière, formant un système fixe, l'autre *g h i k l m* comprenant toute la surface de chauffe intérieure et qui est amovible ; cette amovibilité est obtenue par des moyens simples qu'une longue pratique a consacrés.

La chaudière dont nous donnons la description présente les conditions dans lesquelles MM. Laurens et Thomas l'ont constituée en dernier lieu. Le diamètre du joint *n o* de la partie fixe et de la partie amovible est notablement moindre que dans le modèle primitif, dans lequel ce joint était égal en diamètre à celui de la calandre elle-même. Ce modèle, dit à joint réduit, diffère encore du premier type adopté par d'autres perfectionnements qui en facilitent la construction (1).

Fig. 290.

1373. Le foyer intérieur est placé dans le tube central *lm*, terminé en tête par la plaque emboutie *fg* et en bout par la chambre à fumée *ih*. De cette chambre partent les tubes *tt* qui ramènent l'air brûlé dans la boîte à fumée *pq* qui coiffe l'avant du vaporisateur. Celle-ci est terminée à sa partie inférieure par une buse qui jette la fumée dans un carneau entourant la calandre extérieure pour la chauffer sur les 2/3 de son pourtour, ou immédiatement dans le carneau allant dans la cheminée commune d'une batterie de chaudières, si les circonstances l'exigent. Les tubes ne sont point disposés en faisceau compacte, le nombre en est limité, ils sont en fer et ont $0^m,08$ de diamètre extérieur, souvent même ce diamètre est de $0^m,10$.

1374. La chambre *hi* est spacieuse et n'a pas besoin d'armatures, à cause de sa forme. Les gaz du foyer n'entrant plus dans les petits tubes, à l'issue même du foyer, ont le temps de se brûler, le renversement de la flamme derrière la grille favorise leur mélange et leur combustion ; ce que ne ferait point un foyer élevé à flamme droite.

1375. Le vaporisateur est réuni au corps de chaudière par un joint unique *no*, ce qui lui donne toute liberté de dilatation. Deux cornières en fer rivées, l'une sur la tête du vaporisateur, l'autre sur la tubulure qui rétrécit la calandre, servent à faire le joint à l'aide

(1) Dans le brevet primitif pris de concert par MM. Laurens, Thomas et Pérignon, brevet qui concernait aussi les locomobiles, le joint avait le diamètre de la calandre extérieure ; c'est encore ainsi qu'on le voit disposé sur les nombreuses locomobiles munies de cette chaudière ; pour cette application, il y a avantage à prendre aussi la chaudière à joint réduit, puisqu'une locomobile de 20 chevaux, par exemple, n'aurait guère que le joint d'une machine ancienne de 8 chevaux.

d'un boulonnage; pour le rendre étanche, les contacts sont dressés et on interpose entre eux, soit une rondelle de caoutchouc, soit une baguette en cuivre doux, soit simplement de la filasse et du mastic rouge. Le joint n'étant pas exposé au feu ni au contact de la fumée ne fatigue pas plus que celui d'un cylindre à vapeur de même diamètre. Aussi, il y a peu d'exemples qu'il ait manqué, quoique ces chaudières, pour les usines, marchent à 6 ou 7 atmosphères. *c* et *d* sont deux dômes de vapeur qu'on met dans les grosses chaudières pour éviter les dénivellements de l'eau; les tubulures dont ils sont munis latéralement servent à fixer le tuyau de dépôt de la vapeur.

1376. La calandre *ab* est prolongée au delà du vaporisateur pour constituer une réserve d'eau à la température de la vapeur, afin d'obvier aux variations des pressions qui ont lieu dans les chaudières tubulaires à volume d'eau faible relativement à leur surface vaporisatrice. On ne saurait atteindre le même résultat par un réservoir de vapeur.

En effet, 1 mètre cube de vapeur en réserve ne fournira que les 1000 litres de vapeur qu'il représente, tandis qu'un mètre cube d'eau dans la chaudière, à la température de celle-ci par conséquent, donnera instantanément, si la pression fort usitée de 6 atmosphères baisse de 1 atmosphère, 5,420 litres de vapeur, et 14,250 litres si l'abaissement de la pression était de 2 atmosphères; cette limite est fort acceptable dans un grand nombre de circonstances. Dans ce dernier cas la température de la vapeur n'est descendue que de 159° à 144°, soit de 15°, dans le premier cas elle s'abaisserait seulement de 7°. La réserve d'eau, ce volant de la chaleur, est aussi nécessaire pour les moteurs que pour les chauffages et les évaporations. L'avantage de cette réserve d'eau sur la réserve de vapeur de même volume est donc dans le rapport de 14 à 1; ce qui explique les difficultés pratiques que présentent les chaudières tubulaires à faible volume d'eau, et les modifications incessantes qu'on y apporte.

1377. Pour opérer le nettoyage de la surface de chauffe de cette chaudière, il faut faire sortir, en partie seulement dans le plupart des cas, le vaporisateur. A cet effet, deux rails fixés sur le fond de la calandre et sur lesquels repose la chambre *hi*, permettent de faire glisser le vaporisateur, simplement à bras pour les chaudières moyennes, et à l'aide d'un palan pour les grosses, aussitôt qu'on a défait le joint *no*.

Comme dans toutes les chaudières, c'est la partie chauffée, le foyer principalement, qui occasionne les réparations et les chôma-

ges, on est amené dans les usines importantes à avoir des chaudières de rechange ; avec les chaudières à foyer amovible, il suffirait d'avoir un ou deux vaporisateurs en magasin pour éviter l'installation des appareils complets de rechange et les chômages que nécessitent les réparations.

1378. MM. Laurens et Thomas ont fait également un modèle à deux corps superposés, celui inférieur contenant le vaporisateur amovible avec son foyer et le supérieur servant de réserve d'eau et de vapeur ; mais afin d'avoir une surface d'eau libre convenable, il ne faut pas que le corps supérieur soit une sorte de petit bouilleur d'un faible diamètre qui serait de plus sujet à de grandes variations du niveau de l'eau. Si l'on donne à ce corps supérieur le diamètre convenable, on arrive pour une même surface de chauffe, à un poids de chaudière notablement plus élevé que celui de la chaudière à corps unique et à point réduit. La chaudière à retour ne s'est répandue dans l'industrie que sous la forme amovible. On sait qu'un grand nombre de locomobiles en sont pourvues. Mais ce n'est pas uniquement de petites chaudières de ce type que l'on rencontre ; les auteurs ont constitué sur le même modèle la machine dite *mi-fixe*, fort usitée maintenant, dont la force va jusqu'à 30, 40, 60 chevaux et plus. On applique également ce système aux machines fixes, au chauffage et à l'évaporation.

Le succès de ce système amena bientôt des imitations et fit songer de nouveau à appliquer à l'industrie la chaudière des locomotives à parcours direct.

1379. MM. Farcot et fils firent une chaudière à foyer amovible, mais à parcours direct, avec faisceau tubulaire compacte, commençant immédiatement derrière la grille : le foyer et les tubes formaient l'ensemble amovible qui, en place, se trouvait compris entre deux joints ; il n'y avait plus la facilité de mouvement que procure un joint unique ; ce modèle était à deux corps horizontaux superposés ; le corps inférieur contenait le foyer et le faisceau de tubes mobiles ; le corps supérieur consistait en un petit bouilleur d'un faible diamètre ; un troisième parcours de la fumée avait lieu autour de l'extérieur de cette chaudière comme dans la chaudière à retour de MM. Laurens et Thomas. Ce système présente les inconvénients qui résultent des deux corps et que nous avons signalés plus haut, le démontage est moins facile que dans la chaudière précédente et alors même qu'on a extrait le faisceau tubulaire, sa compacité fait que les tubes de la circonférence sont seuls accessibles au nettoyage.

1380. Deux modes d'amovibilité, mais seulement pour les tubes pris un à un, vinrent ensuite : celui de M. Berendorf et celui de M. Langlois, contre-maître de la marine ; plusieurs autres dispositions ayant le même but ont été proposées ; ces tubes sont destinés à s'appliquer à toutes les chaudières tubulaires, quel qu'en soit le type.

Dans le modèle Berendorf, les tubes mobiles, s'ils sont en fer, doivent recevoir, de chaque bout, l'addition d'une douille brasée, qui est tournée conique sur son parement extérieur ; le tube, ainsi préparé, se présente dans les orifices des plaques tubulaires, et une tringle, filetée aux deux bouts, et qui le traverse, sert, au moyen de deux écrous et des rondelles placées derrière ceux-ci à forcer les tubes dans les trous alésés des plaques tubulaires. Le tube posé, on enlève l'outil de serrage et le tube se trouve uniquement maintenu en place par le serrage que l'on a opéré à la pose. Cette pose doit donc être faite avec beaucoup de soin ; il y a une entrée et une sortie pour le tube, de sorte que si l'embase de la douille du côté de l'entrée n'était pas très-sensiblement plus grande que du côté de la sortie, on serait exposé à voir un tube chassé hors de la chaudière par la pression de la vapeur. Ces embases doivent avoir une certaine saillie sur le tube, égale au moins au maximum possible de la gaîne d'incrustation, sans cela, il serait difficile de sortir le tube lorsqu'on emploierait des eaux fort incrustantes ; cette sortie deviendrait même impossible si on attendait trop pour faire le démontage. La sortie du tube a lieu par une opération inverse du montage et au moyen du même outil ; ainsi le diamètre des tubes à leur extrémité est-il augmenté à cause des bagues et de l'incrustation ; celui des trous percés dans les plaques tubulaires l'est également, ce qui affaiblit les plaques. On ne peut donc pas, en suivant ce système, placer, dans une chaudière d'un diamètre donné, autant de tubes qu'en employant les moyens ordinaires. Ce motif et le desserrage des tubes qui résulte des ébranlements, ont sans doute empêché de se servir de ce mode sur les locomotives et sur les navires.

1381. Le mode Langlois a été essayé sur les chaudières marines, il consiste à braser à l'extrémité des tubes qui s'adapte sur la boîte à fumée une douille en bronze avec collet ; cette douille porte sur son parement extérieur deux filets de vis, ronds, qui sont destinés à pénétrer dans un taraudage semblable exécuté dans la plaque tubulaire ; on met le tube en place en le faisant tourner sur lui-même comme un écrou sur un boulon ; cette manière de fixer le tube est plus solide

que la précédente; afin de rendre le joint étanche, le filetage a été enduit de poussière de zinc mêlée à du suif et une rondelle de plomb est mise entre le collet en bronze et la tôle; la température de la fumée, pouvant atteindre souvent plus de 400° sur les navires, il est peut-être douteux que ce joint puisse résister à toutes les épreuves; une rondelle de cuivre doux serait donc préférable à celle de plomb. La plaque tubulaire d'acier est affaiblie aussi par l'agrandissement des trous et le filetage dans la tôle; ce filetage, s'il venait à se détériorer à la suite de plusieurs montages et remontages, forcerait à remplacer les plaques tubulaires elles-mêmes. Le tube, à sa seconde extrémité, ne reçoit aucun appendice, il est simplement bagué dans sa plaque tubulaire; on a essayé les tubes Langlois sur des chaudières à basse et à moyenne pression.

Ce sont des tubes en fer qu'on emploie pour les chaudières d'usine et pour les locomobiles; leur remontage, après un certain temps de chauffe, n'est pas toujours facile en pratique; il exige toujours une certaine habileté, et on ne peut le confier avec sécurité au premier chauffeur venu, car un tube mal posé peut occasionner un grave accident, aussi l'application des tubes mobiles est-elle jusqu'ici fort limitée.

1382. De nombreuses expériences ont donné par kilogramme de houille brûlée dans les chaudières tubulaires à foyer intérieur 8, 9 et même 10 kilogrammes de vapeur; la chaudière à retour satisfait au meilleur rendement, et si elle possède un vaporisateur amovible établi dans de bonnes conditions, elle offre l'avantage de fournir le maximum d'effet d'une manière à peu près permanente, puisqu'on a la faculté de maintenir les surfaces de chauffe constamment nettes.

1383. Divers ateliers ont appelé improprement chaudière tubulaire la chaudière ordinaire à bouilleurs, dans le corps principal de laquelle on place un faisceau de tubes en fer compacte, comme celui des locomotives. La chaudière est à foyer extérieur par conséquent, et l'air brûlé, après avoir chauffé les bouilleurs dans son premier parcours, entre dans les tubes. On augmente ainsi la surface de chauffe à établir dans un espace donné, mais la chaudière reste à foyer extérieur et le faisceau tubulaire ne peut être nettoyé; on a donc les inconvénients du faisceau tubulaire compacte sans avoir les avantages du foyer intérieur. On a, dans des installations de sucreries, placé ce modèle de chaudière, en supprimant les bouilleurs et en mettant le foyer extérieur directement sous le corps de chaudière

tubulé. Les différences de dilatation ont occasionné de constantes avaries aux tôles exposées au feu du foyer.

1384. *Chaudières marines.* — On ne fait plus pour la navigation

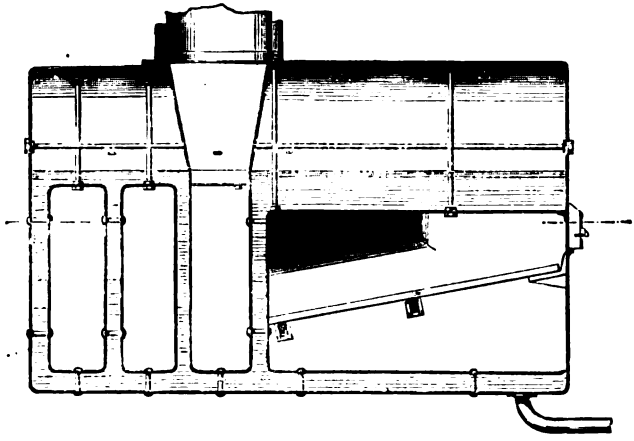


Fig. 291.

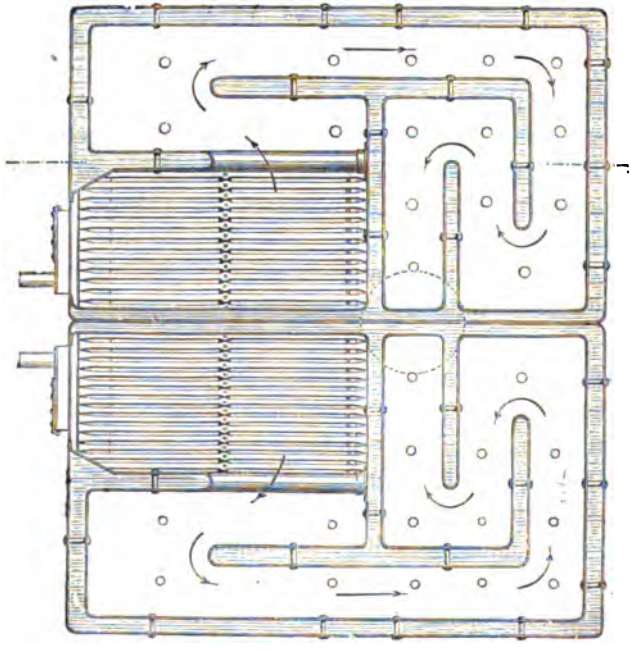


Fig. 292.

maritime d'autres chaudières que des chaudières tubulaires. A l'origine de la navigation à vapeur et longtemps après encore, on ne se

servait que de la basse pression. On employait alors une chaudière à foyer et carneaux intérieurs, dite *chaudière à galerie* (fig. 291 et 292). Les parois planes de ces carneaux à section rectangulaire étaient reliées entre elles par de nombreux étrésillons, comme on en voit quelques-uns indiqués dans la figure 292. Dans ces chaudières, la flamme et l'air brûlé parcourent, à la sortie du foyer, une suite de carneaux rectangulaires en tôle, dans lesquels ils abandonnent leur chaleur à l'eau de la chaudière. Les figures 291 et 292 donnent la disposition d'un ancien générateur à carneaux rectangulaires. Il se compose de deux chaudières symétriques accouplées. Les foyers sont placés dans l'axe; les gaz chauds s'échappent par une large ouverture latérale, et, après avoir suivi le chemin indiqué par les flèches, arrivent dans une cheminée commune placée au centre, et dont la projection est figurée en ponctué dans la figure 292.

1385. On a donné un grand nombre de dispositions différentes aux chaudières à galeries. Dans certains cas, deux chaudières étaient placées l'une à la suite de l'autre; la première renfermait les foyers, et la seconde les carneaux. D'autres fois, on a fait des chaudières à plusieurs étages de foyers, parce qu'on manquait de surface dans la largeur du bateau et que les grilles ne peuvent avoir qu'une certaine longueur. Toutes ces chaudières n'existent plus, et, après bien des dispositions proposées et essayées, l'emploi des chaudières tubulaires pour bateaux devient général. Ces chaudières se composent d'un certain nombre de foyers rectangulaires; la flamme et les gaz se rendent au fond de la chaudière, pour revenir en avant à la cheminée par un grand nombre de petits tubes.

1386. Les figures 293 et 294 représentent la disposition de la chaudière tubulaire construite par M. Mazeline, du Havre, pour l'aviso à vapeur *le Coetlogon*. La figure 293 est une coupe suivant l'axe d'un foyer, et la figure 294 une vue de face et une coupe suivant la ligne *zyxx*. Le générateur se compose de trois foyers et de trois groupes de tubes correspondants. On voit que ces groupes de tubes sont à l'état de faisceaux compactes, comme dans les locomotives et sujets par conséquent aux mêmes inconvénients que ces derniers. F, foyer dont la grille inclinée est formée de trois rangs de barreaux; C, cendrier; A, chambre à combustion des gaz; T, tubes; B, boîte à fumée, où les gaz, sortant des tubes, se réunissent pour entrer dans la cheminée D. On remarquera qu'il y a une boîte à fumée distincte pour chaque foyer. Ces boîtes à fumée sont séparées entre elles par des lames d'eau, dont les parois augmentent ainsi la

surface de chauffe, et qui obligent les gaz à prendre la direction verticale avant de pénétrer dans la partie commune de la cheminée. Ces lames, que l'on voit en coupe à droite dans la figure 295, n'ont que la longueur comprise entre la plaque des tubes et l'avant de la chaudière. O, O, trous de sel servant au nettoyage de la chaudière; M et N, portes du foyer et du cendrier; P, portes des boîtes à fumée,

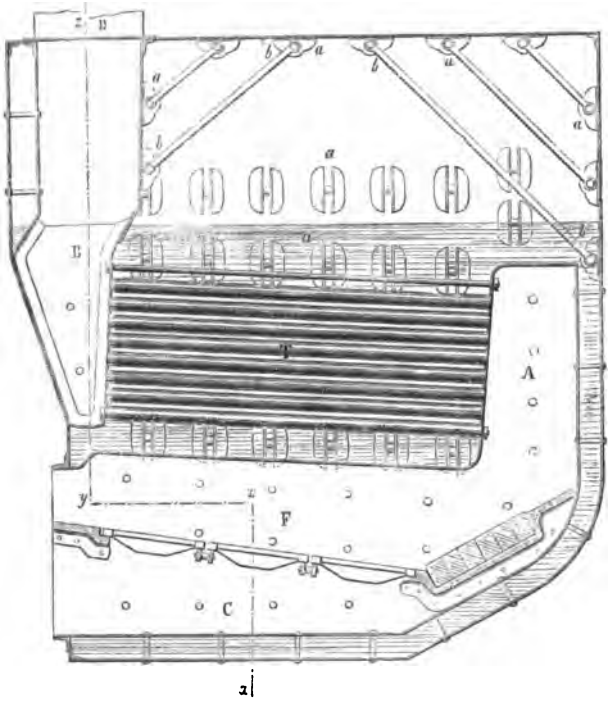


Fig. 293.

qu'on ouvre pour nettoyer les tubes; *a*, *a*, pièces en fonte fixées aux parois de la chaudière, et portant des boulons d'articulation sur lesquels s'assemblent les tirants transversaux *b*, *b*, qui maintiennent la rigidité des parois. Cette chaudière, comme appareil de ce système, est très-bien disposée. Les chaudières marines appartiennent en général à ce type.

1387. L'appareil de vaporisation, dans les grands bateaux à vapeur, se compose d'un certain nombre de corps de chaudières identiques, placés les uns à côté des autres. Tous les réservoirs de vapeur communiquent entre eux, mais seulement par des tuyaux munis de robinets qui permettent de suspendre à volonté le service d'une ou

de plusieurs chaudières. Cette division de l'appareil générateur est utile pour faciliter l'installation à bord, et aussi pour empêcher qu'un accident à l'un de ces générateurs n'arrête complétement la marche de la machine.

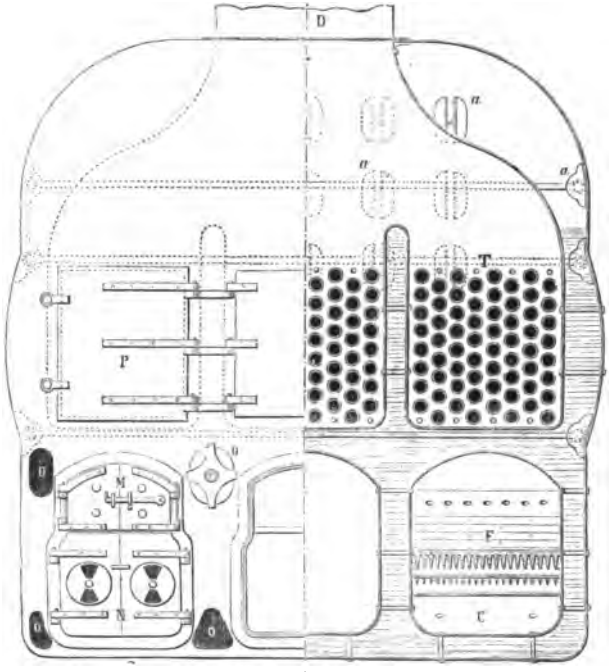


Fig. 294.

1388. En France, chaque corps de chaudière est calculé pour une production de vapeur correspondant à une force de 150 chevaux au maximum, et porte plusieurs foyers de 25 à 30 chevaux chacun environ. Pour le vaisseau *la Bretagne*, dont les machines sont d'une force nominale de 1200 chevaux, mais qui peuvent produire facilement une force double, les corps de chaudières sont au nombre de 8, et il y a 40 foyers.

Les chaudières marines sont maintenant à moyenne pression ou à haute pression. L'emploi des condenseurs à surface et des machines à détente à deux ou trois cylindres a permis d'abandonner la basse pression autrefois usitée. La moyenne pression, qui donne 130°, de température à la vapeur est estimée à 2 atmosphères et demie environ et la haute pression à 5 atmosphères. Dans les pressions un peu

élevées, on sera amené à préférer pour les chaudières les formes cylindriques aux formes parallélipipédiques généralement en usage, quoiqu'on leur reproche d'exiger plus d'emplacement que ces derniers; bien conçues, ces chaudières devraient amener une diminution de poids, puisqu'elles permettraient de supprimer les nombreuses armatures qui sont nécessaires avec les surfaces planes. Les armatures-tirants doivent être en effet multipliées pour offrir quelque sécurité, car il est impossible de les faire travailler toutes également bien; un certain nombre d'entre elles arrivent toujours à ne pas faire leur office.

1389. Dans les chaudières marines tubulaires, le meilleur rendement de la houille a été obtenu en brûlant par heure 90 à 100 kilogrammes. Mais sur une même grille, on brûle 70 et 130 kilogrammes par mètre carré en ralentissant ou en poussant le feu suivant les besoins, tout en se servant uniquement du tirage naturel donné par les cheminées en tôle; la quantité de vapeur produite augmente avec la consommation de la houille, mais l'utilisation du combustible est alors en marche inverse; la hauteur des cheminées varie de 12 à 16 mètres, et il a été reconnu qu'il n'y a pas d'intérêt à dépasser ces limites. Cela tient sans doute aux causes plus intenses de refroidissement auxquelles les cheminées de navires sont exposées en marche. La température au bas des cheminées est de 350 à 400° dans ces conditions et la dépression manométrique est d'environ 10 millimètres d'eau.

1390. Dans les ateliers de la marine, on proportionne à peu près dans les conditions suivantes, relativement à la grille, les divers passages de la flamme et de la fumée. On donne à la section au-dessus de l'autel 0,13 à 0,19 de la surface de la grille; à la section tubulaire, mesurée au diamètre intérieur des bagues, 0,15 à 0,16; à la section de la cheminée 0,12 à 0,13 de la surface de la grille.

1391. Dans la plupart de ces chaudières, le volume d'eau est égal à celui de la vapeur qui existe dans la chaudière et dans les réservoirs; dans quelques-unes le volume de l'eau est les deux tiers du volume total, vapeur et eau, cela vaut mieux pour la régularité du service, comme il résulte des observations que nous avons faites précédemment sur l'utilité d'avoir des chaudières à volume d'eau suffisamment étendu.

On estime à 25 p. 100 l'eau entraînée par la vapeur dans ces chaudières.

1392. La production de vapeur par kilogramme de houille varie,

suivant les navires et les circonstances de marche, de 5 kilogrammes à 8 kilogrammes.

Ce que nous avons dit précédemment relativement à la conduite du feu, sur les quantités d'air qu'il convient d'admettre dans les foyers pour obtenir la meilleure utilisation du combustible s'applique également aux chaudières marines. Nous devons dire cependant que dans la pratique ordinaire, comme on se préoccupe le plus souvent d'obtenir le maximum de vaporisation, on arrive à n'introduire dans le foyer que l'air exclusivement nécessaire à la combustion, sans se préoccuper outre mesure de l'économie qui peut résulter d'une bonne utilisation.

1393. Dans l'origine, on plaçait les chaudières sur une espèce de grillage en chêne, de manière à permettre la visite des tôles inférieures; mais, comme les réparations y étaient néanmoins très-difficiles, et que ces parties s'usaient très-rapidement par le contact de l'air chaud et humide de la cale, on préfère actuellement faire un plancher en madriers, qu'on recouvre d'un mastic épais sur lequel on installe la chaudière. On remplit du même mastic tous les intervalles entre les corps de chaudières, et on le refoule de manière à ne pas laisser de vides. On a soin de rendre lisses les surfaces apparentes et de les incliner pour faciliter l'écoulement des eaux loin des générateurs.

1394. Chaque corps de chaudière a, comme nous l'avons vu, plusieurs foyers correspondant chacun à une force de 25 à 30 chevaux environ. La largeur des grilles est à peu près de $0^m,80$, et la longueur ne devrait jamais dépasser 2 mètres. Il est même difficile, avec cette longueur, de bien diriger le foyer, et il est toujours à craindre que, dans les parties les plus éloignées de la porte, le charbon ne soit très-inégalement distribué. En général, quand les foyers dépassaient en longueur la limite que nous venons d'indiquer, on a trouvé avantage à les raccourcir.

On doit toujours donner aux barreaux une inclinaison assez considérable vers l'arrière, afin de faciliter le chargement. Il y a deux ou trois rangées de barreaux sur la longueur de la grille, et il est indispensable que leur dilatation puisse se faire librement. Afin de diminuer l'intensité de la chaleur sur les parois latérales et d'empêcher la tôle de se brûler, il convient de placer les barreaux extrêmes tout à fait en contact avec la paroi. On empêche ainsi l'accès de l'air, et par suite les jets de flamme.

1395. A la suite de la grille se trouve un autel que l'on fait géné-

ralement en briques. Quelquefois cependant, afin d'augmenter la surface de chauffe, l'autel est formé d'une caisse en tôle pleine d'eau, communiquant par la partie inférieure et sur les deux côtés avec la chaudière. On a soin de donner à la partie supérieure de cette caisse une inclinaison assez grande vers la paroi latérale du foyer, afin de faciliter le dégagement de la vapeur produite; mais, malgré cette précaution, la tôle est sujette à se brûler et à se fendre, et les autels en brique sont préférables.

1396. Les parois verticales des foyers, et en général des galeries, devraient être légèrement inclinées, de manière que le ciel fût un peu moins large que le fond. On favoriserait ainsi le dégagement de la vapeur, qui, sans cette précaution, forme contre la paroi une espèce de cloison, et empêche la transmission de la chaleur à l'eau située au delà. En outre, la tôle, s'échauffant davantage, se détruit plus rapidement, et, comme sa résistance diminue beaucoup avec la température, il peut en résulter, dans certains cas, les plus graves accidents.

On comprend facilement, d'après ce que nous venons de dire, pourquoi les surfaces de chauffe horizontales, recouvertes d'eau, telles que le ciel du foyer, sont beaucoup plus productives en vapeur que les surfaces verticales. Le fond du cendrier produit, par la même raison, très-peu de vapeur et s'use beaucoup plus rapidement que les autres parties. Il est vrai que sa destruction est considérablement accélérée par l'eau que les chauffeurs ont l'habitude de jeter pour éteindre les escarbilles.

1397. Les tubes des chaudières de bateau sont souvent en fer. Ils ont $0^m,075$ à $0^m,085$ de diamètre, et $1^m,50$ à $2^m,20$ de longueur. Souvent aussi on se sert de tubes en laiton des mêmes dimensions. Dans ce dernier cas, le joint avec les plaques des tubes se fait en les baguant; l'emploi des bagues a l'inconvénient de réduire la section des tubes d'une manière assez notable, et de rendre le nettoyage plus difficile.

Il est utile qu'un certain nombre de tubes soient filetés à leurs extrémités, afin de servir d'entre-toises; dans le même but, on en remplace quelques-uns par de forts boulons portant des écrous à l'intérieur et à l'extérieur.

1398. Nous avons déjà vu, en parlant des incrustations, que l'eau de mer renferme environ 0,03 de sels en dissolution, et que, pour empêcher les incrustations de se produire d'une façon intense, on est obligé de faire des extractions, c'est-à-dire, d'enlever de la chaudière

une partie de l'eau surchargée de sels, en la faisant écouler dans la mer à des intervalles assez rapprochés, ou même d'une manière continue.

On a reconnu par expérience que, pour éviter toute incrustation dangereuse, il ne fallait pas que la proportion de sel dépassât 0,09, c'est-à-dire le triple de la proportion normale dans l'eau de mer. Il conviendrait même, pour plus de sécurité, de ne pas aller au delà de 0,06. Il en résulte que les extractions doivent être dirigées de manière à évacuer environ une quantité d'eau égale à celle qui est vaporisée; malgré cette précaution, il se forme toujours des dépôts adhérents qui sont une cause de destruction rapide.

Pendant longtemps les extractions se sont faites sans règles bien précises; aujourd'hui, au moyen d'un instrument appelé *pèse-sel*, on peut apprécier la proportion de sel dans l'eau de la chaudière, et diriger les extractions en conséquence. Le pèse-sel est une espèce d'aréomètre gradué qu'on plonge dans l'eau extraite de la chaudière à certains intervalles; la densité de cette eau étant d'autant plus grande que la proportion de sel est plus considérable, l'instrument s'enfonce plus ou moins suivant le degré de saturation, qui est indiqué par le chiffre de la graduation qui affleure. Pour que le pèse-sel fournisse des indications exactes, il est nécessaire de le graduer à la température de l'eau dans laquelle on le plonge pour les épreuves; il doit de plus être nettoyé souvent. L'instrument, disposé pour cet emploi, prend ordinairement le nom de salinomètre.

1399. La perte de chaleur provenant des extractions est assez considérable. Supposons que, dans une chaudière fonctionnant à 2 atmosphères et alimentée par de l'eau à 30°, on règle l'extraction de manière à ne pas dépasser une proportion de sel égale à 0,06. La température de l'ébullition étant à peu près de 122°, le nombre de calories nécessaires pour vaporiser, à cette température, un kilogramme d'eau prise à 30°, est donné par la formule : $A = 606,5 + 0,305 \times 112 - 30 = 613,7$. Comme, pour chaque kilogramme d'eau vaporisée, il y a un kilogramme pris par les extractions, la quantité de chaleur perdue, en admettant que l'eau salée ait la même chaleur spécifique que l'eau pure, sera $122 - 30 = 92$, c'est-à-dire environ 0,15 de la chaleur utilisée.

On avait imaginé, pour tirer parti de cette chaleur perdue, de faire passer l'eau extraite de la chaudière dans un grand nombre de petits tubes, autour desquels circulait l'eau d'alimentation ; mais ces appa-

reils fort compliqués tiennent beaucoup de place, et les tubes sont sujets à s'engorger.

Pour opérer les extractions, on laisse le niveau de l'eau s'élever dans la chaudière de plusieurs centimètres au-dessus du niveau moyen. On ouvre alors un robinet qui établit la communication avec la mer, et on le laisse ouvert jusqu'à ce que le niveau soit tombé de quelques centimètres au-dessous du niveau moyen. D'autres fois on laisse le robinet constamment ouvert et on règle l'orifice de sortie, pour qu'il s'échappe une quantité d'eau convenable, réglée au moyen du pèse-sel. On s'était servi d'abord de pompes convenablement calibrées et fonctionnant soit d'une manière continue, soit par intermittence, on les appelait pompes de *désaturation*.

Le tuyau d'extraction doit prendre l'eau de la chaudière un peu au-dessous du niveau. On a remarqué, en effet, que l'eau la plus concontrée se trouvait toujours à la partie supérieure. On diminue ainsi la perte de chaleur qui résulte des extractions; de plus, on enlève les écumes qui, dans certaines eaux, se forment à la surface et sont une des principales causes des entraînements d'eau par la vapeur.

L'emploi des condenseurs à surfaces a considérablement amélioré les conditions des chaudières marines, en permettant de réduire considérablement l'extraction.

1400. Les chaudières de mer sont exposées à une destruction rapide. Elles sont rongées extérieurement, au réservoir de vapeur par l'eau qui tombe du pont, dans les cendriers par l'eau que jettent les chauffeurs pour éteindre les escarbilles ; et, quand on n'installe pas les chaudières sur une couche de mastic, elles sont détruites à la partie inférieure par l'air humide de la cale.

Les chaudières sont aussi rongées intérieurement et principalement dans la partie du réservoir de vapeur en contact avec la cheminée. Il est probable que l'altération remarquée dans cette partie provient du suréchauffement de la vapeur. Quant à la corrosion des autres points de la chaudière, nous avons indiqué les causes qui la produisent, en parlant des incrustations.

En somme, la durée moyenne des chaudières marines est très-limitée et ne dépasse guère quatre ans ; encore ne sont-elles réellement en service que pendant le quart de ce temps.

La difficulté ou, pour mieux dire, l'impossibilité de nettoyages intérieurs est certainement une des principales causes de cette faible durée, et on conçoit quel grand avantage offrirait une chaudière facilement accessible dans toutes ses parties.

L'impossibilité de faire le nettoyage d'une manière simple et prompte cause également une perte de combustible et une défaillance dans la force des machines, si on n'a pas de la surface de chauffe en excès. Pendant les trois premiers mois de marche d'un groupe de chaudières marines d'une puissance suffisante, la production de vapeur ne paraît pas diminuer sensiblement, mais, dans les trois mois suivants, elle est réduite déjà d'environ un cinquième. Parfois, au retour d'une longue campagne, on a trouvé le faisceau tubulaire complétement empâté de dépôts salins; mais bien avant que la couche de dépôts ait atteint une pareille limite, il n'y a déjà plus moyen de désincruster la chaudière qu'en enlevant les tubes, ce qui oblige à remplacer à peu près tous les tubes par des tubes neufs. Des faits semblables se produisent sur des locomotives quand on les alimente avec des eaux très-chargées.

L'emploi des condenseurs à surface sur les steamers, qui permet d'alimenter en majeure partie avec de l'eau distillée, ne supprime pas complétement ces inconvénients. Un supplément d'eau est souvent nécessaire, d'autant plus grand que, sous certaines latitudes, la condensation n'est plus aussi active. On sait de plus que les graisses provenant des machines peuvent pénétrer dans les générateurs. Ce serait donc une amélioration importante que celle qui consisterait à faire des chaudières marines dont les surfaces de chauffe seraient accessibles sans démolition et sans grande perte de temps; cette modification aurait déjà de l'intérêt au point de vue de l'entretien et des réparations ordinaires.

1401. Un appareil générateur, combiné dans ses diverses parties comme la chaudière à foyer et à vaporiseur amovibles de MM. Laurens et Thomas, et approprié à l'emplacement disponible dans les navires, éviterait tous ces inconvénients. Ce type de générateur a déjà été employé par la marine sur un certain nombre de chaloupes, ou canots à vapeur. On s'en est servi également sur les dragues à vapeur employées pour les travaux du canal de Suez.

Sur les grands navires à vapeur, les foyers des chaudières et leur système tubulaire sont déjà divisés en groupes d'une force moyenne. Cette division se prête à l'application du système amovible. MM. Laurens et Thomas font remarquer l'avantage qui résulterait de cette application pour la régularité et la sécurité du service, puisqu'on rendrait amovibles les parties des générateurs qui fatiguent et celles qui ont besoin d'un nettoyage fréquent, si l'on veut maintenir l'utilisation du combustible à son maximum. On pourrait avoir des foyers

de rechange, sinon en nombre sur le navire, tout au moins en nombre suffisant dans les magasins des ports. La division de générateurs en groupes de la même puissance permettrait d'avoir un modèle uniforme de vaporisateurs amovibles, susceptible de s'adapter à tous les navires.

Ces vues nouvelles ont amené une solution d'un autre ordre, mais tendant au même but, celle qui consiste à mobiliser les tubes un à un; elle a été essayée dans la marine par application du système des tubes-Langlois.

1402. Au sujet des chaloupes à vapeur, il est bon de signaler la modification d'un de leurs accessoires, faite par M. Clément, ingénieur de la marine, et dont le succès, dans des essais faits récemment, amènera probablement l'adoption définitive.

Dans ces petits navires, la machine est à fuite, et la cheminée devant être assez courte, le tirage est effectué à l'aide de la vapeur de fuite. Le bruit particulier et régulier qu'occasionne ce jet intermittent a des inconvénients pour le service, puisqu'il décèle d'assez loin l'approche de la chaloupe. La modification dont il est question consiste à substituer au jet intermittent un jet continu, que l'on obtient en faisant affluer la vapeur de fuite dans un réservoir d'une certaine capacité; elle en sort ensuite pour alimenter plusieurs petits jets, placés au bas de la cheminée dans laquelle ils produisent le tirage voulu, sans amener le bruit strident de l'échappement intermittent.

1403. *Chaudières de locomobiles.* — La légèreté est une condition essentielle de l'établissement des machines locomobiles, qu'on doit transporter par les chemins et les routes ordinaires, au moyen de trains de chariot, sur lesquels elles reposent d'une façon permanente et avec lesquels elles font corps. Aussi a-t-on songé à leur appliquer la chaudière tubulaire des locomotives. C'est, en effet, au moyen de chaudières semblables que furent établies les premières locomobiles en Angleterre et sur le continent. Encore aujourd'hui, la plupart des machines construites en Angleterre ont des chaudières qui se rapportent à ce type. Les constructeurs des différents pays ne leur ont fait subir que des modifications de détail.

1404. Les objections que l'on peut faire à ce type, quand il s'agit des locomotives, s'appliquent avec une bien plus grande force quand il s'agit des locomobiles. Sous le rapport de l'alimentation, par exemple, on peut établir qu'il n'est pas ordinairement possible de le faire avec de bonnes eaux, ni même avec des eaux purifiées à l'a-

vance par des procédés chimiques. Les désincrustants, remède précaire et peu sûr, comme nous l'avons déjà dit, ne suffisent pas pour empêcher l'encrassement du faisceau tubulaire par les dépôts; ce faisceau compacte ne peut être nettoyé qu'en étant démoli et souvent même complétement remplacé.

Aussi, beaucoup de constructeurs de locomobiles ont-ils adopté la chaudière à retour, à foyer amovible, que nous avons décrite (n° 1372); les locomobiles proprement dites ont généralement une force comprise entre 3 et 10 chevaux; on dépasse rarement cette limite, et il n'est pas fréquent qu'on aille jusqu'à 12 ou 15 chevaux; il faut, en effet, qu'on puisse conserver la faculté de les rouler sur les routes ordinaires.

1405. On n'est point aussi limité quand il s'agit des machines dites mi-fixes. Ces appareils ont une chaudière à foyer amovible, à retour et à réserve d'eau; le corps de chaudière repose par des patins sur des longrines, et supporte lui-même toute la machine qu'on pourvoit, en outre, de la détente, de la condensation, avec pompe à air à double effet. La mi-fixe ainsi disposée est devenue un moteur économique pour les usines. Un moteur de 50 chevaux, par exemple, a deux cylindres où la vapeur passe de l'un à l'autre pour la détente, qui est posé sur une calandre indépendante de la surface de chauffe soustraite au mouvement et à l'usure possible de celle-ci, possède une fondation solide et durable, avec la possibilité d'un déplacement facile (1).

1406. Dans l'origine, la locomobile avait un emploi limité aux usages agricoles et à ceux de certains chantiers. Depuis un certain nombre d'années, elle a été introduite dans l'industrie usinière, mais particulièrement sous la forme de mi-fixe.

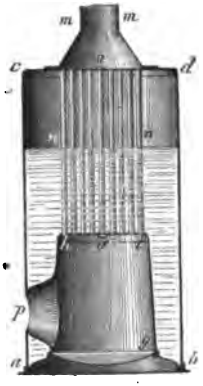
1407. Dans les pays producteurs de céréales, où la houille est chère et où la paille n'a pas de valeur, on voit des locomobiles qui activent des machines à battre, chauffées avec de la paille; la chaudière est tubulaire, du genre de celle des locomotives; le foyer est alimenté d'une manière continue par une trémie; pour que le tirage n'entraîne pas la paille à demi brûlée dans les tubes, on place en avant de ceux-ci une grille inclinée, laissant des jours très-étroits; c'est là un agencement fort imparfait.

(1) Un atelier spécial pour la construction des machines mi-fixes et locomobiles du système Thomas, Laurens et Pérignon a été établi à Pantin par MM. Weyher, Loreau et Cie; cette association a été transformée depuis plusieurs années en société anonyme sous la raison sociale « *Société centrale de construction de machines.* »

On applique à des chaudières fixes, aussi bien qu'aux chaudières locomobiles, un système tubulaire vertical. Nous parlerons de ces installations spéciales lorsque nous nous occuperons des chaudières verticales.

1408. On s'est beaucoup occupé aussi de l'installation de machines à vapeur ou locomotives routières; mais on n'a rien fait de particulier quant à leurs chaudières; on en est resté aux modèles usités pour les locomobiles. Quant aux machines pour labourer, on les a munies des chaudières de locomotives.

1409. *Chaudières verticales.* — Il n'y a guère d'autres chaudières verticales, à foyer extérieur, que le modèle de bouilote de la figure 251 qui ne s'établit que sur des dimensions plus ou moins restreintes et de plus quelques chaudières chauffées par les chaleurs perdues des fours à réchauffer ou à puddler. La généralité des chaudières verticales est à foyer intérieur. Elles sont toujours d'une assez faible puissance et portent, le plus souvent, le moteur de petite force qu'elles desservent. Celui-ci est appliqué, soit contre leur calandre, soit sur un bâtis en fonte qui encadre le tout. Elles sont tubulaires ou non tubulaires.



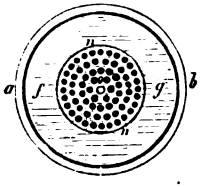


Fig. 295 *et* 296.

1410. La plus ancienne de ces chaudières est représentée figures 295 et 296, la coupe verticale passe par la porte du foyer, la coupe horizontale passe par le faisceau tubulaire. Celui-ci est formé de tubes *n*, *n*, implantés sur la calotte du chaudron *fghi* qui contient le foyer, et qui passent partie dans l'eau, partie dans la vapeur, de telle sorte qu'ils ne sont pas soumis sur toute leur longueur aux mêmes conditions de transmission de la chaleur. La partie qui se trouve dans la vapeur peut s'échauffer et même rougir, si on pousse trop le feu, ce qui, en l'absence de toute liberté de dilatation, fatigue les tubes et leurs joints dans la plaque *c d*, inconvénient qui compense bien, et au delà, l'effet que peut produire cette disposition comme séchage de la vapeur. Plusieurs boulons, tels que *o*, *o'*, relient les deux fonds *cd* et *hi*. La flamme ou la fumée vont directement à la cheminée *mn*.

1411. Les figures 297 et 298 représentent le système de L. Chevalier (de Lyon). Le plafond des chaudières *mlik* reçoit bien encore

le faisceau tubulaire, mais les tubes *t*, *t*, qui le composent, sont courbés en syphon et mieux disposés ; ils font redescendre la fumée dans la caisse circulaire *no* formant soubassement, la fumée passe ensuite dans la cheminée *pq*. C'est donc une chaudière à retour qui donne de meilleurs résultats que la précédente ; les tubes étant coudés peuvent obéir, dans une certaine mesure, aux mouvements qui résultent de la dilatation ; mais on est obligé de les faire en cuivre rouge et de les baguer aux deux bouts. AB est la calandre extérieure ; *mlik*, le chaudron sur la paroi latérale duquel est rivée la tubulure GED, formant le gueulard du foyer ; cette tubulure est également rivée sur la calandre AB ; *t*, *t* les tubes-syphons en cuivre sont bagués dans la plaque annulaire *hi*, qui est fixée au chaudron ; il n'y a donc rien, et il ne peut rien y avoir d'amovible dans ce modèle du brevet originel de Chevalier.

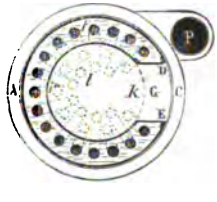
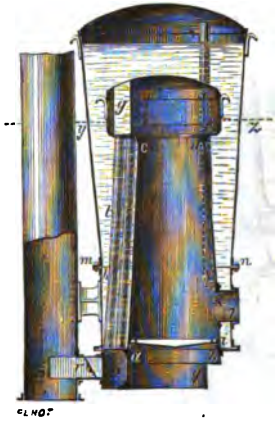


Fig. 297 *et* 298.



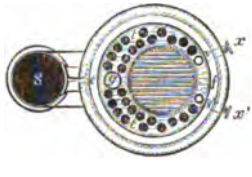


Fig. 299 *et* 300.

1412. Les figures 299 et 300 montrent l'amovibilité appliquée à une chaudière verticale. La calandre extérieure ou le vaporisateur peuvent être amovibles, suivant le dispositif adopté, dans ce modèle, par MM. Laurens et Thomas. C'est une chaudière à retour de flamme,

dans laquelle la première plaque tubulaire et les joints des tubes ne sont pas exposés au rayonnement de la grille. Ici, c'est la calandre évasée *mnoo'* qui est amovible. Le vaporisateur *abcdef*, placé verticalement, est muni de tubes en fer, qui ramènent, en retour, l'air brûlé dans la boîte à fumée *pq;* il est à dilatation libre; le soubassement *hi* lui est uni par un boulonnage avec la plaque tubulaire d'en bas ; il porte une bride en cornière pour recevoir une bride correspondante de la calandre *mnoo';* le joint se fait par boulons comme nous l'avons expliqué pour la chaudière horizontale du même type; la chambre à fumée *ef*, de laquelle part la guirlande de tubes *tt*, est traversée par le bouilleur *g;* le foyer est excentré, et la boîte à fumée *pq* n'a pas besoin de passer sous la porte du foyer, ce qui rend le dessous de la grille accessible au chauffeur ; la cheminée *ss* prend la fumée dans la boîte *pq* par une tubulure *r* qu'on peut munir d'un registre. La flamme n'entre pas de suite dans les tubes; le retour et la chambre à feu *ef*, en ralentissant son mouvement, favorisent la combustion des gaz et une répartition plus régulière de ceux-ci dans tous les tubes. La calandre extérieure *mnoo'* est évasée afin d'obtenir une plus grande surface libre de l'eau et de faciliter la circulation de l'eau et de la vapeur; l'alimentation a lieu dans le soubassement *hi;* le tuyau *v*, qui passe dans l'eau de la chaudière et sort en *x* du soubassement, est la prise de vapeur. Un autre tuyau semblable *v'* sortant en *x'* pourrait se terminer par une tubulure qui porterait les soupapes de sûreté, placées ainsi à la vue du chauffeur. Le tuyau *v* pourrait servir en même temps au même objet, si l'on divisait les deux soupapes; mais la pose de celles-ci sur la calotte de la calandre mobile n'est point un obstacle à la manœuvre de cette dernière, au cas où on ne voudrait pas poser les soupapes en *x* et *x'*.

Fig. 301 *et* 302.

1413. Si dans les figures 301 et 302 on suppose que les petits bouilleurs évasés *m, n, o* n'existent pas, on aura le modèle primitif de la chaudière *non-tubulaire*. Plus tard, afin d'augmenter la surface de chauffe, on a fait traverser le corps intérieur *fghi* par deux ou trois bouilleurs *m, n, o*, contenant l'eau comme la chaudière; ce système de

petits bouilleurs transversaux avait été appliqué en Angleterre par M. Galloway aux tubes intérieurs des chaudières du type Cornwall. Dans toutes ces chaudières, la cheminée *kl* passe partie dans l'eau, partie dans la vapeur; cette dernière partie est sujette à se détériorer; aussi a-t-on proposé de faire sortir la fumée par une tubulure latérale, restant sous l'eau et traversant la calandre *abcd*, pour aboutir à la cheminée placée hors de la chaudière. Pour consolider le corps *fghi*, on le relie par des étrésillons à la calandre *abcd*. Les foyers de toutes les chaudières que nous venons de décrire sont munis de portes qu'on n'a pas représentées dans les figures.

1414. Les chaudières verticales, surtout quand elles ne sont pas à retour, ne donnent pas une aussi grande utilisation que les chaudières horizontales, et on ne comprend leur emploi qu'au point de vue du moindre emplacement qu'elles exigent; ce qui, dans certaines circonstances, peut les faire préférer.

CHAPITRE XI

Générateurs chauffés par la chaleur des gaz qui s'échappent de certains fourneaux.

1415. Dans un grand nombre de fourneaux et surtout de ceux employés en métallurgie, l'air brûlé est abandonné à une très-haute température; dans d'autres, il renferme une quantité plus ou moins grande de gaz combustibles, et quelquefois ces deux circonstances se trouvent réunies. Dans tous les cas, la chaleur que possèdent les gaz chauds, et celle qui peut être développée par une combustion complète, peuvent être employées à produire de la vapeur.

1416. Lorsque la combustion a été complète dans un foyer, et que l'air s'échappe à une haute température, comme dans les fourneaux où l'on fabrique le gaz d'éclairage, et dans certains fourneaux métallurgiques, on peut produire de la vapeur en plaçant une chaudière à la suite. En général, le tirage n'éprouvera que peu de diminution, parce qu'il varie très-peu avec la température de l'air, quand elle est très-élevée, que l'accroissement de résistance provenant de l'accroissement de longueur du circuit est peu considérable, et que les cheminées ont en général un grand excès de tirage. Mais si on voulait refroidir la fumée, autant qu'elle peut l'être par un générateur, il pourrait être utile d'avoir recours à un tirage artificiel, et cela serait

indispensable, dans certains cas, si l'on voulait utiliser toute la chaleur produite par le chauffage de l'eau d'alimentation. Dans le cas où le refroidissement devrait être complet ou à peu près, on disposerait l'appareil de manière que l'air brûlé pût parvenir à la cheminée sans rencontrer toutes les surfaces de chauffe, et à une température assez élevée pour produire le tirage; on ferait d'abord prendre ce chemin aux gaz chauds pour effectuer la mise en train, et, quand la chaudière serait en pression, on enverrait la vapeur dans la machine motrice et on ferait suivre à l'air brûlé toutes les surfaces de chauffe. L'appareil le plus commode serait un ventilateur à force centrifuge qui appellerait l'air refroidi pour le rejeter dans la cheminée. Si la vapeur était produite à haute pression, on pourrait employer un jet de vapeur.

Nous allons maintenant examiner les dispositions des chaudières chauffées par la chaleur et les gaz combustibles perdus des fours à coke et des fourneaux métallurgiques.

1417. Les fours à coke, anciennement employés et dont nous avons déjà parlé (216), ressemblent à des fours de boulanger; mais ils ont une ou plusieurs courtes cheminées par lesquelles s'échappent les gaz qui se produisent pendant la transformation de la houille en coke. La perte de chaleur totale peut être estimée à 0,40, et un tiers seulement des gaz combustibles dégagés n'est pas brûlé. On effectue la combustion de ces gaz par l'introduction d'une certaine quantité d'air convenablement divisé. On peut calculer la puissance du générateur, ses dimensions et celles de la cheminée, comme si l'on brûlait au-dessous un poids de houille égal à 0,4 de la houille distillée dans le même temps.

Il est évident que le générateur doit être très-rapproché du four. On l'a placé quelquefois au-dessus; cette disposition a l'inconvénient de rendre les fours et le générateur solidaires, à moins que ce dernier ne soit supporté par des piliers en fonte placés dans les pieds-droits des massifs. Les fours qui alimentent un même générateur doivent évidemment être assez nombreux pour que, les chargements ayant lieu successivement et après des intervalles égaux, la quantité de chaleur fournie au générateur n'éprouve que de faibles variations.

L'introduction de l'air pour effectuer la combustion présente une assez grande difficulté, parce que dans le même four elle doit varier avec l'état de la carbonisation. A la vérité, si les fours sont très-nombreux, en fournissant à chacun la quantité moyenne d'air nécessaire, la compensation s'établira dans le mélange des fumées;

mais on pourrait craindre que la température ne fût plus assez élevée pour effectuer la combustion. Au-dessous des générateurs doit se trouver un foyer qu'on allume quand les fours à coke ne fonctionnent pas et que la vaporisation ne doit pas être interrompue.

1418. La figure 303 représente la disposition d'un appareil de vaporisation appliqué à des fours à une seule porte : C, C′ fours à coke ; D, D′ conduits de la flamme et des gaz des fours ; O, O′ canaux de

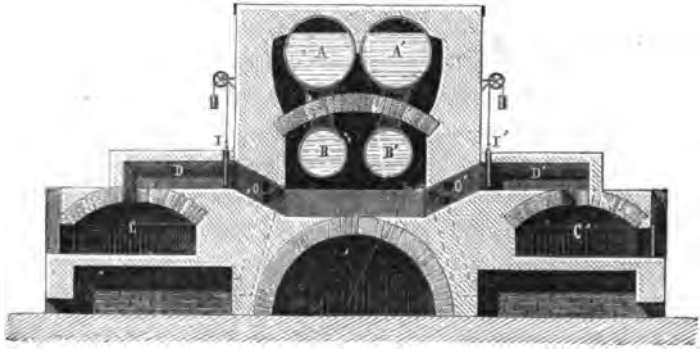


Fig. 303.

terre réfractaire, percés d'un certain nombre de petits orifices par lesquels l'air extérieur vient se mêler à la fumée pour la brûler complétement ; ces orifices doivent être munis en dehors de registres ou de bouchons, qui sont destinés à modérer le volume d'air qui pénètre dans le canal à fumée, et dont on détermine, par expérience, la position la plus convenable ; B, B′ bouilleurs ; A, A′ chaudières ; I, I′ registres en terre cuite qu'on tient fermés quand on charge ou qu'on décharge les fours.

1419. On a prétendu qu'il n'y avait pas avantage à utiliser la chaleur perdue de ces fours à coke, parce qu'on augmentait ainsi le tirage, et que le trop grand volume d'air appelé dans le fourneau brûlait une portion du coke obtenu. Mais en réglant avec soin et attention le volume d'air nécessaire à l'opération, on peut utiliser la chaleur perdue sans qu'il en résulte aucune perte dans le rendement. On a dit aussi que le coke fabriqué dans les fours dont on utilisait la chaleur perdue, était trop léger et ne pouvait pas servir aux opérations métallurgiques ; mais il est probable que les mauvais résultats obtenus provenaient uniquement de ce qu'on avait produit trop de tirage et fait marcher l'opération trop vite. Il est bien certain qu'en utilisant la chaleur perdue, et en réglant convenablement le

tirage, on peut ne rien changer à la marche ordinaire des fours. Cette installation d'une longue chaudière au-dessus d'un groupe de fours à coke a été rarement faite ; c'est à peine s'il en existe encore quelques exemples.

1420. Depuis que l'on fait du coke métallurgique avec des houilles demi-grasses, avec des mélanges de houilles grasses et de houilles maigres ou anthraciteuses, en même temps qu'on emploie les gaz produits au chauffage à haute température des parois latérales et de la sole des fours, la quantité de chaleur disponible, à la suite des fours, est bien moindre que dans le cas précédent. Les fours, comme nous l'avons dit (223), sont oblongs, étroits, à section rectangulaire dans le sens vertical et dans le sens horizontal ; ils ont une porte à chacune de leurs extrémités, afin de permettre un prompt défournement, qu'on exécute au moyen d'un bouclier, ayant la section du bloc de coke à expulser, bouclier qui est poussé, soit par un treuil à bras, soit par une machine à vapeur. On donne l'air pour brûler les gaz dans chacun des premiers carneaux, celui qui longe une des parois latérales du four, au moyen d'une série de petits caniveaux répartis sur la longueur de ce carneau. Des tampons disposés sur leurs orifices servent à donner plus ou moins d'accès à l'air, suivant le besoin. Les gaz enflammés passent ensuite sous la sole ; après avoir chauffé la sole, les gaz brûlés arrivent à la cheminée ou aux deux cheminées de chaque four, ou bien encore à une artère générale qui se rend à une cheminée unique desservant tout un groupe de fours. Dans ce dernier cas, chaque branchement de four sur l'artère générale est muni d'un registre en terre réfractaire. Les gaz brûlés que reçoit cette artère générale sont à une température assez élevée pour chauffer une chaudière à vapeur ; mais il est clair que la quantité de vapeur qu'on peut en obtenir est bien moindre que dans le cas précédent, puisqu'une grande partie de la chaleur produite a été appliquée aux fours eux-mêmes, et que dans les parcours accessoires, nécessaires cependant, il y a de la chaleur perdue. Cependant sous un groupe de 12 à 15 fours, produisant environ 2,000 kilos de coke par jour, on peut obtenir une force de 20 à 25 chevaux, au moyen d'une bonne installation. La quantité de gaz produite varie suivant la nature des houilles ; on ne saurait donc poser *à priori* des chiffres absolus de vaporisation par ces chaleurs perdues ; on devra, pour s'en rendre compte, avoir recours à une expérience directe, ou à une détermination calculée d'après la composition des combustibles à carboniser.

1421. Dans la plupart des usines métallurgiques, principalement dans celles qui ont pour objet la fabrication du fer, et ce sont les plus répandues, les opérations nécessitent des températures très-élevées, d'où résulte une perte de chaleur très-considérable par les cheminées. Dans ces mêmes usines, on a besoin d'une grande puissance motrice, soit pour lancer le vent dans les foyers, soit pour le travail des métaux. On a cherché, dans ces dernières années, à utiliser la chaleur perdue des fourneaux pour faire mouvoir les machines, et on a complétement réussi. Ainsi, sur ces trois conditions qui étaient nécessaires pour la création d'une usine à fer, la proximité des minerais, celle du combustible et la jouissance d'un cours d'eau, la dernière a perdu presque toute son importance.

1422. Les foyers métallurgiques peuvent se diviser en deux classes. La première comprend ceux dans lesquels le combustible est brûlé sur grille, et agit principalement par la flamme qu'il produit. L'air qui s'échappe de ces fours est presque entièrement brûlé, mais il est à une très-haute température. La seconde comprend les fourneaux dans lesquel les matières que l'on veut chauffer, réduire ou fondre, sont mêlées avec le combustible et forment des couches d'une grande épaisseur, circonstance qui occasionne la formation d'une grande quantité d'oxyde de carbone et de différents carbures d'hydrogène.

1423. La première classe renferme tous les fours à réverbère, les fours à réchauffer, les fours à puddler. L'utilisation de la chaleur perdue dans ces fours, pour la formation de la vapeur, est très-simple; il suffit de faire circuler la flamme et l'air brûlé qui sortent du fourneau, autour de chaudières de dimensions convenables, et de faire écouler dans l'atmosphère l'air brûlé refroidi, par une cheminée d'une section et d'une hauteur suffisante. On conserve quelquefois à la suite du four l'ancienne cheminée, que l'on tient fermée à l'aide d'un registre, quand le générateur est en activité. Le générateur est pourvu d'un foyer spécial, si l'on prévoit que l'on puisse avoir besoin de vapeur quand le four, par une circonstance quelconque, cesse de fonctionner.

1424. Quand on doit appliquer des chaudières à vapeur à des fours à puddler ou à réchauffer, il faut se rendre compte de la consommation de houille que l'on fait par heure dans ces fours. Cette quantité est assez variable au puddlage, suivant la nature des fontes traitées et les contrées. Ainsi pour les fontes au bois de la Champagne, elle est d'environ 70 kilogrammes à l'heure, tandis que pour des fontes au coke, elle varie, suivant les espèces, de 95 kilogrammes à 100 kilo-

grammes et même 120 kilogrammes. Pour les fours à réchauffer, les consommations varient plus encore, suivant les dimensions des fours et des charges à passer. Ainsi 100 kilogrammes pour un four à petits fers et 120 à 125 kilogrammes pour un four à gros fers marchands seront la consommation par heure dans certains cas, tandis que, dans d'autres, elle sera portée à 200 kilogrammes, et même plus.

1425. Les cheminées de ces fours sont ordinairement établies à raison de $0^{mq},01$ de section par 4 kilogrammes ou $4^{k},50$ de houille consommée par heure ; mais pour que le passage de l'air brûlé autour des chaudières ne diminue pas le tirage des fours, il importe de donner aux carneaux et à la cheminée une section sensiblement plus grande. La cheminée peut être calculée à $0^{mq},01$ par 3 kilogrammes à $3^{k},50$ de houille brûlée par heure. On donne à ces cheminées de 20 à 25 mètres de hauteur ; cette dernière dimension devra d'ailleurs être réglée suivant la situation et suivant le nombre des fours qu'elle dessert.

Il est reconnu que le chauffage des chaudières par la chaleur perdue des fours à puddler ou à réchauffer ne nuit en rien au travail de ces fours. Les opérations s'y font dans les mêmes conditions de durée et de consommation que lorsqu'on n'utilise pas les chaleurs perdues, à la condition toutefois que l'on aura adopté des installations rationnelles et pratiques au point de vue du travail des fours. On met une chaudière par four ou par deux fours, mais il faut que chaque four soit indépendant et soit muni de son registre pour en régler le tirage à volonté. Les registres se placent habituellement entre la chaudière et la cheminée. Cela est inévitable quand plusieurs fours à chaudières ont une cheminée commune.

1426. Quant à la surface de chauffe, on peut la déterminer comme si le foyer du four était placé sous la chaudière, parce que, comme nous le verrons plus loin, l'effet du combustible est à peu près le même pour la même étendue de surface de chauffe. On pourrait penser qu'il est utile d'employer des surfaces de chauffe beaucoup plus grandes que pour les appareils ordinaires, attendu qu'aucune partie des chaudières n'est chauffée par rayonnement ; mais cet accroissement de surface n'est pas nécessaire, parce que la flamme arrive sous la chaudière et que l'air brûlé est à une température beaucoup plus élevée que dans les appareils ordinaires.

Les chaudières placées à la suite des fours à réchauffer donnent presque autant de vapeur que si la houille était brûlée directement sur une grille placée au-dessous. Ainsi pour les chaudières ordinaires à bouilleurs, on compte sur 5 kilogrammes de vapeur par kilo-

gramme de houille; mais quand il s'agit de faire une évaluation à ce sujet, il convient de tenir compte de la qualité de la houille et des circonstances accessoires. Un assez grand nombre de fours à réchauffer sont soufflés sous la grille à l'aide d'un ventilateur qui en dessert plusieurs. Le cendrier est fermé par une porte que l'on peut ouvrir pour décrasser. On arrive ainsi à employer des houilles menues et de moindre qualité.

1427. Les fours à puddler suivis d'un petit four à réchauffer préalablement la fonte, ne donnent guère, en employant des houilles médiocres, que $3^{k},30$ de vapeur. D'autres *puddlings* donnent presque autant que des fours à réchauffer ordinaires. On peut compter sur une production de vapeur de 12 à 15 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe; sur des fours à réchauffer, on peut aller à plus de 20 kilogrammes.

1428. Dans certaines usines, le manque d'espace exige que l'on place les chaudières au-dessus des fours à puddler; cette disposition n'est pas commode, parce qu'il est difficile de rendre les deux fourneaux indépendants et que le rayonnement de ces chaudières surperposées rend plus pénible le travail des ouvriers puddleurs.

1429. Ce sont surtout des chaudières horizontales à bouilleurs et à foyer intérieur que l'on a employées pour utiliser les chaleurs perdues dans les foyers; cependant on s'est également servi de chaudières verticales d'une grande hauteur, à chauffe intérieure; on en a fait aussi à chauffe extérieure.

La figure 304 représente la chaudière qui a été appliquée vers 1865 à tous les fours à puddler et à réchauffer de la nouvelle forge du Creusot. Chaque four a une chaudière semblable, qu'il chauffe par sa chaleur perdue, le fourneau en briques de la chaudière lui sert de cheminée; pour un four à puddler, la longueur de la chaudière est de $12^{m},30$ et son diamètre de 1 mètre; la partie qui contient la vapeur a 3 mètres de hauteur. La surface de chauffe est de 26^{mq} environ. Le timbre est de cinq atmosphères; il faut observer, à cet égard, que le bas de la chaudière supporte environ une atmosphère de plus que le haut; les soupapes de sûreté sont au haut de la chaudière; le tuyau *fg* de prise de vapeur passe dans l'eau de la chaudière pour déboucher en *g* à $4^{m},50$ du sol, d'où il se rend à l'artère générale de vapeur. Deux petits tuyaux placés de même desservent un indicateur du niveau placé près du sol; l'alimentation a lieu en *u* dans le bas de la chaudière; *h* est un tuyau de vidange. Une *échelle de perroquet*, fixée au centre du corps *abcd*, permet de monter dans l'in-

térieur de celui-ci pour le nettoyage. Une plaque de fonte *vv'*, fixée à la fondation, reçoit la chaudière; une autre plaque annulaire *qq* supporte la maçonnerie. En *i* se trouve une tubulure avec un trou d'homme; *k* est un revêtement en briques réfractaires qui a pour objet d'éviter les coups de feu. La flamme du four arrive par le canal *l*. En *mn* se trouve une galerie pour la surveillance. Les gaz brûlés, qui arrivent par le canal *l*, s'écoulent verticalement par le vide existant entre le briquetage et la chaudière, et s'échappent dans l'atmosphère par les deux cheminées en tôle *s*, *s'* de 6 à 7 mètres de hauteur, dont la section totale est de $0^{mq},25$; la température au bas de ces cheminées est encore de 350 à 400°; l'emplacement occupé par cette installation au niveau du sol a environ 3 mètres de diamètre.

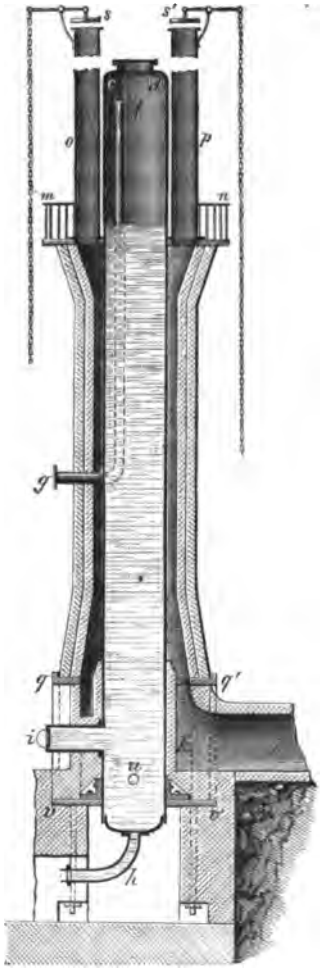


Fig. 304.

Des chaudières verticales de ce genre, avec prolongement en contrebas du canal *l* pour recevoir les dépôts, ont été établies dans la Moselle, en 1853, mais en prenant des dispositions pour que les gaz ne pussent pas se rendre aussi directement aux deux cheminées *s*, *s'*; le motif qui les avait fait employer était l'impossibilité absolue de trouver un emplacement suffisant pour y placer des chaudières horizontales.

Quelques chaudières du modèle du Creusot ont été établies dans diverses forges; les graves conséquences qu'ont eues les explosions de la forge de Clairvaux et de la forge de Commentry, nous mènent à faire remarquer que ces chaudières à enveloppe de maçonnerie d'une grande hauteur, placées dans les ateliers ou à proximité de ceux-ci, projettent au loin, lorsqu'elles font explosion, une véritable mitraille de briques qui peut atteindre un grand nombre d'ouvriers. Les

soupapes de sûreté, placées hors de la vue et de la main, ne sont pas faciles à surveiller ni à tenir en état. Quand la question d'emplacement oblige à recourir à cette installation, il y a des précautions particulières à prendre. En dehors de cette nécessité, il est préférable d'employer des chaudières horizontales qui fournissent beaucoup plus de vapeur à égalité de surface de chauffe.

On remarquera que ces chaudières, auxquelles on donne un petit diamètre, afin d'occuper moins de place sur le sol, et une très-grande hauteur, afin d'obtenir une surface de chauffe suffisante, présentent au maximum l'inconvénient justement reproché à la presque totalité des chaudières verticales et aussi à certaines chaudières horizontales, celui d'offrir une très-faible surface d'eau libre relativement à la surface vaporisatrice. Ainsi la chaudière de $26^{mq},00$ de surface de chauffe n'a que $0^{mq},78$ de surface libre d'eau. Avec une chaudière horizontale, on pourrait avoir une surface libre 8 ou 10 fois plus grande. Plus la vapeur viendra du fond et plus il y aura d'eau entraînée ; c'est une perte de chaleur, indépendamment des accidents qui en peuvent résulter.

1430. On avait employé en Angleterre, il y a fort longtemps, comme le mentionnent d'anciennes publications, une chaudière verticale à basse pression, en forme d'œuf, d'une faible hauteur et d'un diamètre qui recevait la chauffe de quatre fours à réchauffer. Cette disposition a été reproduite depuis en France, en faisant aboutir la flamme des fours dans un corps intérieur, lequel est traversé par plusieurs petits bouilleurs horizontaux ; la flamme, amenée par un tube, qui traverse l'espace annulaire plein d'eau, descend par le corps central pour arriver à un canal souterrain, aboutissant à une cheminée unique. Cette disposition, dans laquelle les fours n'étaient pas indépendants, n'a pas été conservée.

L'intermittence du travail mécanique dans les forges et les variations de la dépense de fer exigent que, suivant les limites dans lesquelles elles se produisent, on donne aux chaudières des volumes d'eau et de vapeur en réserve qui suffisent au débit inégal, et ne laissent pas tomber la pression au-dessous d'une certaine valeur qui dépend du moteur à vapeur dont on dispose.

1431. Dans les foyers de la seconde classe, la chaleur perdue n'est pas simplement celle que renferment les gaz qui s'échappent et dont la température est plus ou moins élevée, mais principalement celle qui peut être dégagée par la combustion des gaz combustibles que renferme la fumée : ainsi, pour utiliser la chaleur perdue,

il ne suffit pas de refroidir les gaz, il faut les brûler complétement.

1432. Les hauts fourneaux qui produisent la fonte sont en première ligne; les gaz qui se dégagent sont presque entièrement formés d'azote et d'oxyde de carbone, quand on emploie du coke ou du charbon de bois; ils renferment en outre des carbures d'hydrogène, quand le fourneau est alimenté par du bois incomplétement carbonisé ou par de la houille crue, comme cela a lieu en Écosse. J'ai donné précédemment (837 et 302 *bis*) la composition des gaz qui s'échappent des hauts fourneaux, leur puissance calorifique et la température qu'ils peuvent produire.

1433. En parlant des foyers à gaz, j'ai dit que les gaz des hauts fourneaux avaient été employés à un grand nombre d'usages, et notamment à la production de la vapeur nécessaire aux machines soufflantes, au chauffage de l'air et au chauffage des fours où le fer doit être soumis à une température très-élevée. Mais les maîtres de forges trouvent qu'il est plus avantageux d'employer les gaz au chauffage de l'air et aux souffleries à vapeur, parce que ce sont là deux opérations nécessaires et essentielles pour eux, et qui absorbent la presque totalité des gaz.

1434. Les premiers générateurs à vapeur furent placés au sommet du haut fourneau, à une petite distance du gueulard. Plus tard on a essayé d'employer des chaudières verticales; les gaz brûlés descendaient dans un canal vertical en échauffant une partie de la surface et remontaient en chauffant l'autre partie. Maintenant on préfère généralement les placer au niveau du sol; les gaz descendent par un tuyau, et sont brûlés dans un foyer qui peut être disposé de diverses manières, et l'air brûlé, après avoir parcouru toute la surface de chauffe du générateur, se dégage par la cheminée.

Ordinairement, dans les générateurs chauffés au gaz des gueulards, les gaz ne sont pas réchauffés, et l'air employé pour la combustion est simplement l'air extérieur que fournit l'appel de la cheminée, car on ne se sert pas d'air forcé dans ce cas.

1435. Nous avons donné (n° 829 et suivants) les prises de gaz usitées et les conditions à remplir pour employer les gaz sans déranger les hauts fourneaux. La plus importante est de n'exercer aucun tirage au gueulard du haut fourneau et d'y maintenir, au contraire, une certaine pression supérieure même à celle de la marche antérieure. Au moyen de la pression donnée aux gaz, on les fait cheminer dans des tuyaux jusqu'aux appareils utilisateurs placés sur le sol de l'usine. L'accroissement de pression au gueulard est favorable au roulement des

hauts fourneaux, parce qu'il amène une répartition plus uniforme des gaz dans la masse des matières en mouvement.

Il est très-important de ne pas exercer de tirage par la cheminée des générateurs, ou par un ventilateur, sur le haut fourneau, parce qu'alors on changerait son allure d'une manière tout à fait désavantageuse. Les mauvais résultats obtenus par quelques directeurs d'usines étaient dus à ce qu'on n'avait pas observé cette condition et qu'on croyait nécessaire de tirer les gaz pour les faire descendre sur le sol.

L'observation de ces principes, que nous rappelons ici, a lieu généralement maintenant, et montre que l'utilisation des gaz des hauts fourneaux produit un bénéfice net sans aucun inconvénient qui le compense désavantageusement. Depuis 1855, elle s'est assez répandue en Angleterre, d'après les errements suivis en France, alors qu'auparavant les mauvais résultats de quelques tentatives avaient jeté la défaveur sur cette application.

1436. Les foyers à gaz, bien disposés pour les chaudières, consistent en une ou plusieurs lames de gaz de 5 à 8 centimètres d'épaisseur, sur plus ou moins de largeur, suivant la puissance du générateur; elles sont établies verticalement ou horizontalement au moyen de caisses ou sortes de buses plates, en fonte ou en tôle, avec accès d'air en lames, beaucoup plus minces, à côté des lames de gaz. Il importe même d'éviter de donner trop d'air dans le foyer à gaz et d'avoir le moyen de réduire son accès à volonté. Les circonstances peuvent même modifier la forme de ces foyers, tout en observant le même principe. Comme dans bien des cas on a du gaz en excès, on ne fait pas toujours le nécessaire pour obtenir la meilleure combustion possible. Avec de bons foyers, on a non-seulement assez de gaz, dans la plupart des hauts fourneaux, pour fournir toute la vapeur aux souffleries et chauffer l'air, mais encore un excès qu'on peut appliquer à des opérations accessoires, comme des chauffages d'étuves, etc. On éclaire aussi au gueulard, et même certains chantiers, au moyen du gaz des hauts fourneaux.

1437. Les générateurs sont généralement des chaudières à bouilleurs ou à réchauffeurs. On ne pourrait pas employer des chaudières tubulaires du type des locomotives, parce que les flammes sont trop longues, qu'elles s'éteindraient à l'entrée des tubes et qu'il en résulterait une perte notable de chaleur. Des chaudières tubulaires à retour de flamme ne présenteraient pas le même inconvénient. Aussi emploie-t-on des chaudières tubulaires à retour, à foyer amovible,

du type décrit précédemment (1372), chauffées, sans addition de combustible, par les gaz des hauts-fourneaux au charbon de bois. Pour le soufflage de ceux-ci, une autre portion des gaz sert à chauffer l'appareil à air chaud.

Indépendamment des chaudières à bouilleurs, on voit aussi des chaudières à tube intérieur, genre Cornwall, chauffées au gaz de hauts fourneaux au coke.

Il est très-important d'employer des chaudières renfermant un assez grand volume d'eau et un grand réservoir de vapeur, afin d'obvier aux irrégularités qui peuvent se produire dans le service du gaz.

1438. Il est toujours utile de placer près de l'arrivée des gaz, sous la chaudière, un petit foyer destiné à rallumer spontanément les gaz, en cas d'arrêt dans leur débit. Il faut rallumer le gaz aussitôt qu'il paraît et ne pas le laisser se répandre, éteint, dans les carneaux, dans lesquels il formerait un mélange détonant, circonstance qui donnerait lieu à de violentes explosions, quand on viendrait à allumer le gaz au foyer. Il est aussi très-prudent de munir les parois d'un fourneau chauffé au gaz et les conduites des gaz de clapets formant soupapes de sûreté, et de placer en outre sur ces conduites des caisses à eau servant au nettoyage et en même temps de soupapes de sûreté. Avec les précautions indiquées, les explosions, qui se produisent quelquefois, surtout par suite de négligence, ne causent pas de dommage. Les explosions se produisent plus difficilement avec les gaz des fourneaux au coke qu'avec ceux au charbon de bois, surtout quand ceux-ci fonctionnent avec addition de bois vert ou torréfié, parce qu'alors les gaz renferment toujours une certaine quantité d'hydrogène bien plus inflammable que l'oxyde de carbone.

1439. Les feux d'affinerie et de chaufferie, quoique n'ayant que peu de hauteur, rentrent, quant à l'utilisation de la chaleur perdue, dans la même classe que les hauts fourneaux; car il s'en dégage beaucoup d'oxyde de carbone qui brûle très-facilement à la sortie des feux, à cause de sa haute température. Les feux de forge peuvent alors être couverts et les gaz sont amenés dans une petite chambre de combustion placée à leur suite. Un feu d'affinerie au charbon de bois, qui produit 24,000 kilogrammes de fer par mois, peut fournir par sa chaleur perdue 180 kilogrammes de vapeur par heure, quantité bien suffisante pour faire marcher la soufflerie et son marteau; cette vaporisation peut être produite par une chaudière de $16^{m},7$ de surface de chauffe, même en chauffant dans un petit four qui précède la chaudière, la fonte qui doit être affinée. Ces résultats ont

été obtenus par MM. Thomas et Laurens dans différentes usines créées sans l'emploi de cours d'eau.

1440. Jusqu'ici on s'est très-peu occupé d'utiliser la chaleur perdue des cubilots ; et cependant elle est assez importante. La quantité de vapeur qu'on pourrait produire excéderait celle qu'exige la machine soufflante, et pourrait même servir à chauffer l'air entrant par les tuyères. On s'en est cependant quelquefois servi pour chauffer l'air à insuffler, en plaçant l'appareil à air chaud au gueulard du cubilot.

CHAPITRE XII

Explosions des chaudières à vapeur.

1441. Les chaudières à vapeur éclatent quelquefois : l'eau bouillante et les parties déchirées de l'enveloppe sont projetées au loin avec une grande force, renversent les obstacles qu'elles rencontrent, et il en résulte souvent les plus terribles accidents. Ces catastrophes sont trop fréquentes pour qu'on ne cherche pas à les prévenir ; mais elles sont cependant assez rares, relativement au nombre des chaudières qui travaillent, pour que l'on soit assuré que les circonstances qui les produisent se réalisent difficilement.

1442. M. Arago, dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes*, a donné les détails circonstanciés d'un certain nombre d'explosions, et les *Annales des mines* renferment les procès-verbaux, rédigés par les ingénieurs des mines, de toutes celles qui ont eu lieu depuis un grand nombre d'années. Je me bornerai ici à indiquer les différentes causes d'explosion qui ont été constatées.

1443. 1° *Défauts de construction.* — Ces défauts peuvent provenir de la mauvaise qualité de la tôle ou de formes vicieuses dans la disposition de la chaudière, et quelquefois dans celle du fourneau quand la surface de chauffe s'élève au-dessus du niveau de l'eau. Les essais de la résistance de la chaudière à la pompe de compression peuvent ne pas mettre ces défauts en évidence, parce qu'on opère à froid et que les fuites ne se manifestent souvent que par une pression intérieure beaucoup plus prolongée que la durée ordinaire de ces expériences.

1444. 2° *Altération des chaudières par un long usage.* — Les chaudières s'altèrent toujours avec le temps, principalement par les fuites, autour desquelles le métal s'oxyde rapidement, et surtout par

les incrustations qui élèvent beaucoup la température du métal qu'elles recouvrent, et, par suite, facilitent son oxydation et diminuent la résistance. Les chaudières sont aussi rongées très-rapidement, quand les eaux d'alimentation sont acides, comme dans certaines mines (1235). On conçoit facilement que par ces causes d'altération, isolées ou réunies, la résistance de la chaudière, diminuant progressivement, finit par atteindre la limite qui correspond à la rupture. Il ne faudrait pas cependant conclure de là que toutes les chaudières à vapeur doivent finir par éclater après un service plus ou moins prolongé; car il en existe un grand nombre, construites dans de bonnes conditions, dirigées par des chauffeurs intelligents, qui fonctionnent régulièrement depuis un grand nombre d'années sans avoir éprouvé d'altérations sensibles. Quoi qu'il en soit, il est absolument nécessaire de s'astreindre à une surveillance convenable et à des vérifications périodiques de la chaudière à cet égard.

1445. Indépendamment des causes d'altération intérieure des chaudières que nous avons signalées, il se produit quelquefois des causes d'altération extérieure; nous avons déjà parlé des causes d'altération spéciales aux réchauffeurs et qui ont été signalées et étudiées par M. Scheurer-Kestner; on trouve un exemple d'altération analogue d'un bouilleur de chaudière à propos d'un cas d'explosion qui s'est produit à la fabrique d'Ougrée (*Revue universelle de Cuyper*, 1875). La chaudière, à deux bouilleurs, était chauffée par les flammes perdues de trois fours à puddler. Les visites périodiques de la chaudière n'avaient jamais fait constater de fuite; les nettoyages intérieurs n'avaient jamais fourni d'indices d'altération ou de corrosion de la tôle; la pression était de 2 atmosphères 3/4 au moment de l'explosion, le niveau était normal; il n'y eut ni détonation ni fracas au moment de la rupture, qui se borna à la déchirure de la tôle supérieure de l'extrémité de l'un des bouilleurs; le long de la ligne de rivets, suivant laquelle eut lieu la déchirure, l'épaisseur de la tôle était réduite à $1^{mm},5$; à $0^{m},10$ des rivets, l'épaisseur était de 3^{mm}, et à $0^{m},50$ on retrouva l'épaisseur normale; l'amincissement avait été extérieur, la partie corrodée n'était pas directement exposée à l'action des flammes. La partie altérée était recouverte d'un enduit déposé par les fumées et qui au bout de peu de temps était devenu pâteux et humide; cet enduit contenait 39,65 p. 100 d'acide sulfurique, soit libre, soit à l'état de sulfate de fer; la présence de cet acide était due à la suroxydation de l'acide sulfureux du gaz en présence de l'air et de la vapeur d'eau. La partie amincie était diffi-

cilement accessible au nettoyage. On ne saurait donc se dispenser de surveiller, dans des cas semblables, l'état extérieur des diverses parties du générateur, et surtout de celles qui sont exposées à être peu chauffées.

1446. 3° *Surcharge des soupapes de sûreté, adhérence des soupapes sur leur siége, absence de manomètre.* — Ces causes d'explosion se sont reproduites un grand nombre de fois. L'accroissement de pression est une cause d'autant plus efficace d'explosion, que l'excès de résistance des chaudières est peu considérable, malgré leur grande épaisseur, à cause du mode de clouure des feuilles de tôle et de la température élevée à laquelle le métal est soumis.

1447. 4° *Détonation d'un mélange explosif dans les carneaux.* — C'est à cette cause qu'il faut attribuer les explosions de certaines chaudières à foyer intérieur. La détonation d'un mélange explosif a eu lieu, d'après Gay-Lussac, dans le fourneau d'une chaudière de concentration, complétement ouverte, à la raffinerie de salpêtre établie à l'arsenal de Paris; le fourneau a été entièrement démoli, mais la chaudière n'a éprouvé aucune altération. Les mélanges explosifs se forment principalement quand, après avoir abaissé le registre, on le lève ensuite subitement ou qu'on ouvre la porte du foyer; par l'abaissement du registre, le combustible, qui éprouve, quand il en est susceptible, une véritable distillation, remplit les carneaux de gaz combustibles, et par l'ouverture de la porte il arrive un excès d'air qui se mêle au gaz, et qui, dans certaines circonstances, peut produire une violente détonation : on comprend même difficilement que ces accidents ne soient pas plus fréquents.

1448. 5° *Abaissement du niveau de l'eau dans la chaudière.* — Le niveau de l'eau dans la chaudière peut s'abaisser, soit par une alimentation insuffisante, soit par l'ouverture des soupapes de sûreté ou d'un orifice de dégagement de la vapeur, et, dans certains cas, par la position de l'orifice de sortie de la vapeur, qui laisserait échapper de l'eau à l'état d'émulsion. Cet abaissement de niveau est ordinairement accompagné d'un affaiblissement de la puissance des machines, provenant de la diminution de la surface de chauffe, et il est suivi d'un grand échauffement des parties de la chaudière qui sont chauffées extérieurement par les gaz sortis du foyer et qui ne sont pas mouillées intérieurement.

1449. Indépendamment des explosions, qui heureusement sont assez rares, il arrive aux chaudières à vapeur des accidents qui, dans certains cas, peuvent avoir beaucoup de gravité ; la vapeur et

l'eau s'échappent quelquefois par des fissures qui se produisent dans les joints. Quand les jets n'ont qu'une petite section, il n'en résulte jamais de graves inconvénients ; mais quand la section est considérable, il se dégage instantanément une grande quantité de vapeur qui peut occasionner de graves accidents, surtout dans les bateaux, parce que la chambre des chaudières est petite et fermée.

1450. Plusieurs physiciens avaient prétendu qu'un accroissement graduel de pression ne pouvait pas donner lieu aux explosions fulminantes, qu'il ne pouvait occasionner que des déchirures partielles de la chaudière et des jets de vapeur ou d'eau, et que, pour expliquer ces grandes explosions, il fallait avoir recours à la formation instantanée d'une grande quantité de vapeur. Mais il existe des exemples d'explosions qui, sans aucun doute, ont été provoquées par la surcharge des soupapes de sûreté; d'ailleurs, des expériences faites en Amérique par l'institut Franklin, dans lesquelles on a fait éclater, avec toutes les circonstances des explosions fulminantes, des chaudières de fer ou de cuivre hermétiquement fermées, ne peuvent laisser aucune incertitude à cet égard. Les explosions fulminantes peuvent même se produire dans des vases renfermant de l'air ou un gaz comprimé; je citerai l'explosion d'un réservoir dans lequel du gaz propre à l'éclairage était comprimé par une pompe, explosion dont M. Arago a été témoin, et enfin l'explosion moins ancienne d'un appareil de M. Thilorier, pour la congélation de l'acide carbonique, et qui a occasionné un si funeste accident.

1451. On conçoit facilement qu'une déchirure peu étendue dans une chaudière puisse ne donner lieu qu'à des jets de vapeur et d'eau et n'occasionner aucun ébranlement dans la masse; mais si l'eau est à une température élevée, de manière à pouvoir produire un grand volume de vapeur, la diminution de résistance provenant d'une déchirure partielle peut occasionner la séparation complète d'une partie de la chaudière, qui, étant pressée par la vapeur pendant une partie de son mouvement, peut recevoir une impulsion qui la projette à une grande distance ; la réaction provenant de ce mouvement et celle qui résulte de l'écoulement de l'eau peuvent alors occasionner de grands dérangements dans le reste de l'appareil.

De toutes les causes d'explosion que nous avons énumérées, la dernière seule paraît difficile à comprendre, et elle a été expliquée de différentes manières.

1452. Voici d'abord l'explication donnée par M. Perkins, et qui est assez généralement admise. Imaginons que, par une cause quel-

conque, le niveau de l'eau baisse dans une chaudière ; les parties de la surface qui sont en contact d'un côté avec l'air brûlé, et de l'autre avec de la vapeur, prendront une température très-élevée ; la vapeur s'échauffera bien au-dessus de la température du liquide ; la surface du liquide en contact avec la chaudière diminuant, la quantité de vapeur formée ira aussi en diminuant, malgré l'activité du foyer. Ainsi, la vitesse de la machine se ralentira. Dans cet état, si l'on ouvre une soupape de sûreté ou un tuyau de dégagement, de manière à diminuer la pression intérieure, il se formera une grande quantité de vapeur aux dépens de la température de l'eau elle-même ; cette émission de vapeur, qui partira simultanément de tous les points de la masse liquide, produira une augmentation de volume analogue à celle des eaux gazeuses ou du vin de Champagne qu'on débouche ; cette mousse pénétrant dans la chambre de vapeur à une haute température, il se formera, dans un temps très-court, une grande quantité de vapeur ; la pression augmentera subitement ; la soupape de sûreté se soulèvera ; mais, la quantité de vapeur qu'elle laissera écouler n'étant point suffisante, la chaudière éclatera.

1453. Cette explication repose, comme on voit, sur trois points : 1° échauffement de la partie supérieure de la chaudière par suite de l'abaissement du niveau de l'eau ; 2° expansion de l'eau en mousse par une diminution de pression ; 3° formation instantanée d'une grande quantité de vapeur par cette mousse, en pénétrant dans la chambre à vapeur.

Le premier point est évident ; car aussitôt qu'une partie de la surface de chauffe n'est pas baignée par l'eau, comme la chaleur se dissipe très-peu par la vapeur, il en résulte nécessairement que la paroi de la chaudière s'échauffe, et on conçoit qu'elle puisse être portée jusqu'au rouge. Un grand nombre d'observations directes le démontrent. M. Mogle découvrit une fois, en visitant les machines du Cornwall, qu'une échelle en bois, qui reposait par son pied sur le sommet d'une chaudière, avait pris feu. Dans un des paquebots qui font le voyage de Liverpool à Dublin, une planche de sapin, qu'on avait posée accidentellement sur le couvercle de la chaudière, s'était enflammée. Enfin, pour ne laisser aucun doute, nous rapporterons une expérience directe de M. Perkins. Une chaudière cylindrique, de 4 pieds de long sur 1 pied de diamètre, ayant été placée verticalement sur un fourneau, la base fut entourée d'un feu qui s'élevait au tiers de la hauteur, tandis que l'eau plus basse n'en baignait qu'un sixième ; la soupape de sûreté, chargée d'environ 1 atmosphère,

était placée sur le côté de la chaudière, à la moitié de la hauteur. On remplaçait l'eau transformée en vapeur que cette soupape laissait échapper, au fur et à mesure de sa fuite. Un thermomètre, plongé dans l'eau et descendant jusqu'au fond du vase, marquait 104° centigrades. Un autre, plongé au milieu de la hauteur de la chaudière, accusait 260°; le couvercle de la chaudière était rouge (*Annuaire du Bureau des longitudes* de 1830.)

Quant au second point, il est impossible de ne pas l'admettre également. On peut d'ailleurs faire à cet égard une expérience décisive : si l'on place, sous une cloche reposant sur le plateau d'une machine pneumatique, un vase renfermant de l'eau ou de l'alcool, on voit, à chaque coup de piston, la vapeur s'élever en mousse à une hauteur plus ou moins considérable. Ce fait a d'ailleurs été constaté directement par M. Jobard sur des bouilleurs en verre, et, par l'Institut Franklin, sur une chaudière de fer munie de regards en verre : la pression intérieure étant de 2 atmosphères, lorsqu'on ouvrait un orifice dont la section était égale à 1/2055 de la surface de la chaudière, le bouillonnement remplissait la chaudière, et l'eau était lancée avec violence par l'orifice.

Mais le dernier point présente beaucoup d'incertitude. On conçoit facilement que l'eau, lancée dans la partie supérieure de la capacité de la chaudière, à travers la vapeur très-dilatée et très-chaude qui s'y trouve, en absorbe très-promptement la chaleur; mais la quantité de chaleur que cette vapeur contient est peu considérable, et ne peut pas expliquer l'accroissement de pression que suppose l'explication de M. Perkins. Il faudrait alors admettre que la chaleur des parois de la chaudière concourt à la formation instantanée de la vapeur; mais des faits incontestables, que nous allons rapporter, ne permettent pas de supposer que cette chaleur puisse se transmettre assez rapidement à l'eau pour occasionner un grand accroissement de pression dans un temps très-court.

1454. *Phénomènes que présentent les liquides en contact avec des surfaces métalliques incandescentes.* — En 1756, Leidenfrost a reconnu que, lorsqu'on met quelques gouttes d'eau dans une capsule polie de fer, d'argent ou de platine, chauffée au rouge-blanc, les gouttes se réunissent en une seule qui tourne rapidement sur elle-même et s'évapore lentement. Plus tard, M. Dobereiner constata que ce phénomène avait également lieu avec l'alcool, l'éther et les huiles essentielles; ensuite, M. Laurent a établi qu'il se manifestait pour tous les liquides et les corps en dissolution. Plus récemment, M. Bou-

tigny a étudié cette question avec beaucoup de soin et de sagacité, et nous allons résumer le résultat de ses observations.

M. Boutigny désigne sous le nom d'état sphéroïdal l'état particulier que prennent les liquides dans les vases métalliques incandescents, et il a établi les faits suivants :

1° Tous les liquides, l'eau, l'alcool, l'éther, le mercure, les huiles, les graisses, les dissolutions acides ou salines, sont susceptibles de prendre l'état sphéroïdal. La température du vase à laquelle ce phénomène commence à se produire s'élève avec celle de l'ébullition du corps : pour l'eau, l'alcool absolu, l'éther, ces températures sont de 171°, 134°, 61°, et par conséquent bien inférieures à la chaleur rouge.

2° La température des liquides à l'état sphéroïdal, quelle que soit d'ailleurs celle du vase qui les contient, est invariable, et toujours inférieure à celle de leur ébullition ; la quantité de liquide vaporisée augmente avec la température du vase.

3° La température de la vapeur produite par le liquide à l'état sphéroïdal est égale à celle des vases qui la contiennent.

4° Il n'y a pas contact entre le liquide à l'état sphéroïdal et la surface sur laquelle il est déposé ; car, si elle est plane, on peut apercevoir la lumière entre elle et la partie inférieure du globule ; d'ailleurs, des liquides qui attaquent certains métaux n'agissent pas sur eux lorsqu'ils sont à l'état sphéroïdal.

5° Les phénomènes dont il s'agit peuvent se produire sur de très-grandes masses de liquide ; seulement il se manifeste toujours un léger mouvement d'ébullition ; mais l'évaporation est très-lente, et se fait brusquement, avec une sorte d'explosion, lorsque la température du vase s'abaisse assez pour qu'il soit mouillé par le liquide.

1455. La lenteur de l'évaporation, dans les circonstances dont il est question, provient de deux causes : de ce que le liquide ne mouille pas le métal, et de ce que la chaleur rayonnée par le métal est presque complétement réfléchie à la surface du liquide.

1456. La cause qui empêche le liquide de mouiller le métal réside très-probablement dans une force répulsive qui se manifeste entre les corps échauffés et qui augmente rapidement avec leur température. Les expériences de M. Perkins, que nous allons rapporter, viennent à l'appui de cette supposition. Un générateur à vapeur en bronze étant fendu sur une partie de sa longueur, rien ne sortait par la fente, à une haute température ; mais il se produisait un jet d'eau lorsque la température était peu supérieure à 100°. On pouvait supposer que

l'absence du jet à une haute température provenait de la dilatation du métal qui se trouvait de chaque côté de la fente ; mais, en perçant le générateur d'un trou de 1/8e de pouce de diamètre, et en y adaptant un canon de fusil de 3 pieds de longueur, terminé par un robinet, on a reconnu que le robinet ne donnait point d'eau lorsque la pression était de 50 atmosphères, et que, sous une pression beaucoup plus faible, l'eau en sortait avec une grande vitesse.

1457. Quoi qu'il en soit de l'explication du fait dont il s'agit, il est bien démontré que le liquide ne peut mouiller le métal qu'à une température inférieure à 171°. Ainsi le métal, étant à une température supérieure, ne communiquerait pas sa chaleur à l'eau. Mais il faut remarquer que, dans les chaudières à foyers extérieurs, les carneaux latéraux sont terminés supérieurement par des voûtes en briques qui prennent la température des gaz, et la communiquent ensuite partiellement aux parties des chaudières supérieures aux carneaux, et par conséquent la température de la partie de la chaudière qui se trouve au-dessus du niveau de la chauffe pourra, par cette cause, être élevée. Ainsi, sur une certaine partie de la chaudière, chauffée plus fortement que la vapeur, il pourra y avoir formation presque instantanée de vapeur par le contact du liquide en émulsion. Perkins cite, à l'appui de son opinion, le fait suivant : un générateur ayant été d'abord chauffé au rouge et ensuite rempli d'eau, la force élastique de la vapeur était d'abord très-faible, et s'est développée avec une grande rapidité à mesure que la température de la chaudière a baissé ; mais ce fait, qu'il était facile de prévoir, ne prouve rien, parce que la chaudière avait été rougie avant d'être remplie.

1458. Mais, comme il y a eu souvent des explosions après un certain temps d'arrêt, pendant lequel le niveau de l'eau, par l'absence des bouillons, a nécessairement baissé, il est probable que la vapeur a été surchauffée, et on pourrait penser que l'eau entraînée mécaniquement par la vapeur a pu, en se vaporisant au contact de la vapeur surchauffée, produire presque subitement un grand accroissement de pression. Pour vérifier cette supposition, considérons une chaudière ayant un réservoir de vapeur d'un mètre cube ; admettons que la vapeur soit à 121° et qu'elle s'échauffe progressivement jusqu'à 500° ; son volume augmentera dans le rapport de $1 + 0,00366 . 121$ à $1 + 0,00366 . 500$, c'est-à-dire dans le rapport de 1, 44 à 2,83 ; si l'on suppose que la soupape se soit soulevée de manière à maintenir la pression primitive, le poids de la vapeur, d'abord de $1^k,11$, deviendra à

peu près $0^k,5$; la vapeur renfermera $\frac{530}{2} = 265$ unités de chaleur latente et $0,5 . 0,475 (500 - 121) = 89,77$ unités de chaleur sensible, qui ne pourraient vaporiser qu'une quantité d'eau égale à 1/3 de celle qui se trouve dans la chaudière : ainsi la tension ne serait augmentée que de 1/3 environ.

1459. Il est donc peu probable que les explosions dont il est question proviennent uniquement d'un accroissement lent de tension de la vapeur; on pourrait supposer qu'elles résultent de la formation presque instantanée de vapeur qui produirait l'effet d'un choc violent; cette vapeur serait formée par la chaleur enlevée à la vapeur surchauffée et aux parois de la chaudière ; mais cette supposition est encore peu probable.

1460. M. Boutigny attribue les explosions qui sont précédées d'un abaissement du niveau à ce que les surfaces de la chaudière abandonnées par l'eau prennent une température élevée; le niveau remontant par suite d'une alimentation augmentée ou d'une diminution de consommation de vapeur, et un refroidissement des parois de la chaudière permettant à l'eau de mouiller le métal, il y a formation instantanée de vapeur, et par suite explosion. L'explication de M. Boutigny est fondée sur un grand nombre d'expériences, mais elles ont été faites sur une petite échelle; les vases avaient une grande épaisseur, et l'eau un petit volume ; or, comme le contraire a lieu dans les chaudières à vapeur, les phénomènes ne sont pas comparables.

1461. Ainsi, toutes les explications des explosions précédées d'un abaissement de niveau, et qui reposent uniquement sur une formation très-rapide de vapeur par le contact de l'eau avec le métal très-échauffé, ou par la vaporisation, aussi très-rapide, de l'eau entraînée mécaniquement en pénétrant dans la vapeur surchauffée, sont insuffisantes.

1462. Mais il faut remarquer que la résistance d'une chaudière, par le seul mode de clouure, est réduite à 0,55 (1050); qu'ensuite, si l'on suppose que la température du métal atteigne 700°, sa résistance est réduite à 0,3 (1051), et que, par ces deux circonstances réunies, la résistance de la chaudière est réduite à $0,55 . 0,3 = 0,165$ de celle qui résulte de la formule (1053); or, comme cette résistance est à peu près douze fois plus grande que celle qui correspond à la rupture, il s'ensuit que, quand une partie de la chaudière, où se trouve un joint à rivets, est chauffée à 700°, la résistance de la chaudière

n'est pas égalant double de la force qui produit la rupture. On comprend alors facilement qu'une légère altération dans le métal, ou une tôle de mauvaise qualité, ou une température plus élevée du métal, et très-probablement aussi un accroissement rapide de pression résultant du chauffage de la vapeur par le métal incandescent, ou la formation presque instantanée de vapeur par l'eau entraînée mécaniquement et pénétrant dans la vapeur surchauffée, puissent donner à la pression une valeur plus grande que la résistance, et qu'une explosion s'ensuive. D'ailleurs un métal, soumis à une pression si voisine de celle qui produit la rupture, doit nécessairement s'altérer, et c'est pour cette raison qu'on ne peut pas, avec sécurité, faire supporter à la tôle une charge permanente supérieure à 1/12e de celle qui produirait la rupture. Il est très-probable que c'est à ces causes qu'il faut attribuer ces explosions qui se sont manifestées à la reprise du travail.

Il serait possible aussi que la continuité de la pression, sous une température élevée, eût une certaine influence sur la résistance de la tôle.

1463. On a pensé qu'une couche de dépôts au fond de la chaudière pouvait lui permettre de rougir, et que, par une cause quelconque, la croûte venant à se rompre, l'eau se trouvait en contact avec le métal incandescent, et qu'il se formait instantanément un grand volume de vapeur dont la tension produisait la rupture de la chaudière. Mais cette explication est peu probable, à cause de la faible épaisseur des chaudières, de la faible capacité calorifique du fer et de la grande surface qu'il faudrait supposer au métal rouge découvert.

1464. M. Galy-Cazalat, tout en admettant pour causes de certaines explosions l'introduction de l'eau au-dessous des couches de dépôts soulevées où le métal est incandescent, et l'élévation du liquide en mousse contre les parois de la chaudière qui ont été chauffées au rouge par un abaissement de niveau, admet encore une autre cause fondée sur les expériences suivantes. Lorsqu'on place, dans un vase renfermant un bain à une température constante, un vase de verre ouvert contenant de l'eau, l'ébullition se fait régulièrement, et la température de l'eau est de 100°. Mais, si l'eau est recouverte d'une couche d'huile, l'ébullition n'est point régulière, et la température de l'eau peut s'élever jusqu'à 123°, dans ce cas une légère élévation de température détermine une formation instantanée de vapeur qui brise le vase. L'ébullition par intermittence a également lieu

pour les dissolutions salines saturées. M. Galy-Cazalat admet que, quand l'eau est couverte d'une couche d'huile, ce liquide s'oppose seulement à ce que l'eau reprenne de l'air à mesure qu'elle perd par l'ébullition, et que de l'eau privée d'air se comporterait de la même manière. Il explique alors certaines explosions par l'absence d'alimentation qui laisse l'eau privée d'air et lui permet de prendre une température plus élevée que celle qui correspond à la pression, et de produire instantanément une quantité de vapeur très-grande, d'où résulte une pression que la chaudière ne peut pas supporter, et contre laquelle les soupapes de sûreté sont sans efficacité. Depuis, les expériences de MM. Dony, Dufour (de Genève) et Gernez ont mis en évidence la nécessité de la présence d'une atmosphère gazeuse pour déterminer l'ébullition d'un liquide à la température normale. Même au contact des surfaces métalliques ou des pointes (limaille de fer, fil de platine), l'ébullition se trouve retardée si l'eau est absolument privée d'air, et on ne la détermine qu'en introduisant dans sa masse un corps qui y introduit de l'air d'une façon accidentelle (expériences de M. Dufour), ou en maintenant dans la masse, et d'une façon permanente, une certaine masse d'air en contact avec le liquide (expériences de M. Gernez). Si, lorsque l'ébullition a été retardée, elle vient à se produire, une quantité très-considérable de vapeur prend naissance et l'eau prend la température normale d'ébullition. Deux effets différents peuvent alors se manifester : la masse totale de l'eau renfermée dans la chaudière peut être soulevée brusquement par suite du développement instantané de la vapeur au fond du liquide, la masse ainsi lancée peut venir frapper la paroi supérieure de la chaudière et enlever celle-ci qui se trouve lancée dans l'espace; d'un autre côté, la production de vapeur qui se continue, et qui peut augmenter la pression dans une proportion énorme si la surélévation de l'eau a été seulement de 20 à 30°, peut ensuite déterminer l'explosion de la chaudière. Il peut se faire d'ailleurs que les deux effets soient simultanés et que la rupture de la chaudière ait alors lieu sur place.

1465. M. Jaquemet a donné, il y a un certain nombre d'années, une explication des explosions complétement différente de celles que nous venons de voir; nous la rapporterons sommairement. M. Jaquemet a reconnu par expérience que, lorsqu'on ouvre une issue à la vapeur qui se forme dans une chaudière, si la section est très-petite relativement à la surface de chauffe, il ne se dégage que de la vapeur; si la section augmente, il sort un mélange d'eau et de vapeur, dans le-

quel l'eau est d'autant plus abondante que la section est plus grande, et qu'à une certaine limite de section, inférieure à celle qu'on donne communément à chacune des soupapes, il ne sort que de l'eau. Il résulte de ce fait que, quand on ouvre une large issue à la vapeur, la vitesse d'écoulement du mélange d'eau et de vapeur étant beaucoup plus petite que celle de la vapeur pure, la quantité de chaleur entraînée hors de la chaudière pourrait être, malgré la plus grande densité du mélange, plus petite que celle qu'elle reçoit dans le même temps, et, par suite, que la tension de la vapeur augmenterait constamment jusqu'à la rupture de l'appareil. Cette explication suppose nécessairement qu'en ouvrant un large orifice à l'écoulement de la vapeur la pression de la chaudière augmente; mais ce fait, que M. Jaquemet a observé un grand nombre de fois et qui l'avait été avant lui, n'a pas été constaté depuis. Il était probablement dû à certaines circonstances particulières aux chaudières dont on s'est servi.

1466. On a expliqué les explosions fulminantes par la détonation d'un mélange d'hydrogène et d'air; l'hydrogène proviendrait de la décomposition de l'eau sur le métal incandescent, ou de celle des matières grasses entraînées par l'eau d'alimentation, et l'air arriverait par la pompe alimentaire dont le tube d'aspiration ne plongerait pas dans l'eau ou dont certains joints ne seraient pas parfaitement étanches ; l'inflammation du mélange détonant serait due au contact du métal incandescent, ou à une étincelle électrique résultant de l'électricité produite par la vaporisation. Cette dernière explication est bien difficile à admettre; en effet, la quantité d'hydrogène qui se formerait ne pourrait donner un mélange explosif qu'avec l'oxygène introduit par la pompe à air; cette quantité toujours excessivement faible, 40 litres au maximum par mètre cube d'eau introduite, pourrait déterminer la combustion de 80 litres d'hydrogène ; or, 120 litres de gaz explosifs mesurés sous la pression atmosphérique se trouveraient dilués dans la vapeur d'eau que peut produire un mètre cube de ce liquide, soit 1,600,000 litres mesurés aussi sous la pression atmosphérique ; il est de toute impossibilité qu'un mélange pareil puisse faire explosion. D'ailleurs, la production de l'électricité, fournissant des étincelles, qu'on observe lors de l'écoulement de la vapeur et qu'on a appliquée dans la machine électrique d'Armstrong, est exclusivement due au frottement de l'eau liquide entraînée sur les parois du tuyau de sortie, et ce n'est pas dans l'intérieur de la chaudière que l'étincelle pourrait se produire. Quoi qu'il en soit, cette dernière explication des explosions, proposée, il y a longtemps, a été repro-

duite par M. Jobard, qui la regarde comme pouvant seule rendre compte d'une explosion qui a eu lieu à Gand, il y a quelques années : la chaudière était froide, sans eau, ouverte, et la détonation eut lieu lorsqu'un ouvrier s'y introduisit avec une lampe pour la nettoyer. La formation de l'hydrogène dans les chaudières à vapeur a d'ailleurs été constatée, par M. Séguier, dans plusieurs circonstances ; il a reconnu, dans une chaudière du faubourg Saint-Antoine, qu'il s'échappait de l'hydrogène avec la vapeur par la soupape de sûreté ; dans une machine à vapeur, il a été constaté que ce gaz sortait par la pompe à air.

1467. De tous les détails que nous venons de donner sur les explosions des chaudières, nous pouvons déduire que les précautions les plus importantes à prendre, dans leur construction et leur direction, sont les suivantes :

Employer, autant que possible, des chaudières cylindriques à base circulaire.

Éviter les formes de chaudières qui peuvent changer par la pression ; car les armatures intérieures n'empêchent pas complétement le métal d'obéir à l'influence des variations de la pression intérieure, et ces flexions, en se produisant très-fréquemment, diminuent la résistance de la tôle.

Employer surtout, dans la construction des chaudières, des tôles de bonne qualité, non feuilletées, et de préférence celles qui ont été fabriquées au charbon de bois.

Employer des soupapes de sûreté à rebords étroits, comme celle de M. Chaussenot ; veiller à ce qu'elles soient toujours en bon état de fonctionnement et jamais surchargées.

Multiplier surtout les indicateurs de niveau : deux sont indispensables, un à tube et l'autre à flotteur ; mais il est utile d'employer un troisième flotteur à sifflet, qui ne fonctionnerait que quand le niveau serait descendu d'une certaine quantité au-dessous de la limite assignée, surtout quand l'appareil est une pompe, car le jeu de la pompe d'alimentation peut être interrompu par un grand nombre de causes, par l'introduction de corps étrangers qui s'opposent à la fermeture d'un des clapets, par des fuites dans la garniture du piston, par l'adhérence d'un des clapets sur son siége.

Nettoyer souvent les chaudières, surtout si les eaux que l'on emploie forment beaucoup de dépôts, et, dans tous les cas, se servir des différents moyens indiqués pour éviter les incrustations. A ce sujet, il est bon de remarquer qu'il n'est pas toujours sans danger

de s'introduire dans une chaudière ou dans un bouilleur après qu'il a été vidé et refroidi. Dans une sucrerie à Cuzin, on procéda au nettoyage d'un bouilleur avant l'ouverture de la campagne ; de l'eau chargée de matières organiques était restée dans un des bouilleurs et s'était putréfiée ; l'ouvrier qui descendit dans le bouilleur fut asphyxié d'une façon presque foudroyante ; l'accident n'eut heureusement pas de suites fâcheuses. On voit qu'il peut être nécessaire d'assurer la ventilation intérieure de la chaudière et des bouilleurs avant d'y pénétrer (*Annales des mines*, 1870).

Enfin, de toutes les précautions, la plus importante, et malheureusement la plus négligée, c'est le choix d'un chauffeur sobre, actif et intelligent. Il faut bien se garder de croire qu'on peut confier la conduite d'une chaudière au premier manœuvre venu. Nous avons fait ressortir, à différentes reprises, combien il importe, au point de vue de l'économie du combustible et de la bonne marche de la chaudière, d'avoir un chauffeur habile. Il faut, de plus, au point de vue de la sécurité, qu'il soit soigneux et attentif.

1468. En terminant ce chapitre, nous appellerons l'attention de tous les industriels sur les associations de propriétaires d'appareils à vapeur ; ces associations, qui ont pris naissance en Angleterre, vers 1855, se sont développées en France et en Allemagne postérieurement ; l'association alsacienne date de 1867 ; il s'en est établi en France depuis cette époque : à Lille en 1873, à Amiens et à Rouen en 1874, à Paris en 1875. Ces associations présentent une des garanties les plus utiles qu'on puisse obtenir pour le bon entretien et la conservation des appareils à vapeur, et elles tendront, il n'en faut pas douter, à réduire le nombre des explosions.

CHAPITRE XIII

Améliorations à introduire dans les générateurs.

Générateurs fixes.

1469. On a généralement l'habitude d'indiquer la puissance des générateurs en force de *chevaux ;* cette spécification manque absolument de certitude. En effet, s'il s'agit de desservir une machine à vapeur, il faut remarquer qu'il y a de ces moteurs qui consomment 8 à 10 kilogrammes de vapeur par heure et par cheval, tandis que d'autres en

exigent 30 kilogrammes. Dans certains cas donc, il suffirait de $0^{mq},80$ de surface de chauffe de la chaudière par cheval; dans d'autres $2^{mq},00$ seraient à peine suffisants. S'il s'agit d'évaporation par la vapeur ou de chauffage, la spécification dont il s'agit n'a plus aucun sens.

Dans les chaudières à foyer extérieur, on compte comme surface de chauffe toute la surface extérieure de la chaudière qui est exposée au rayonnement de la grille ou qui est en contact avec la flamme de l'air brûlé; dans les chaudières à foyer intérieur et dans les chaudières tubulaires, c'est la surface des tubes qui donne la surface de chauffe.

1470. Le plus grand nombre des chaudières en France consiste encore en chaudières à bouilleurs, avec ou sans réchauffeurs à la suite; mais les chaudières tubulaires à foyer intérieur se répandent en Angleterre et aux États-Unis; il existe d'ailleurs, comme nous l'avons vu, une grande variété de chaudières à foyer intérieur : un très-grand nombre sont du type Cornwall diversement modifié.

Avec un bon système de chaudière tubulaire à foyer intérieur, l'addition de réchauffeurs à la suite produit peu d'effet, parce que la chaleur est plus complétement utilisée dans ce système de chaudières que dans les autres.

1471. Dans le cas de chaudières à foyers extérieurs dans lesquelles la fumée quitte les carneaux à la température de 350° environ, on pourrait, en donnant à des réchauffeurs placés à la suite un développement suffisant, refroidir à peu près complétement les gaz brûlés et utiliser presque les 0,75 de la chaleur du combustible brûlé, tandis que l'on n'utilise guère que les 0,5. Mais alors il faudrait produire un tirage mécanique, qui, du reste, ne consommerait que bien peu de travail (664 et suivants); la mise en train pourrait être produite par une cheminée, qui communiquerait avec un point du circuit assez rapproché de la chaudière pour que l'air brûlé y arrivât à une température de 200 à 300°, bien suffisante pour le tirage. Mais une partie du bénéfice que produit le développement des réchauffeurs ordinaires serait compensée par le surcroît de rentrée d'air dans le fourneau, la chaleur perdue par l'extension de la surface de celui-ci, et l'usure rapide qui résulte des causes particulières d'attaque de ces réchauffeurs. En Alsace, on a adopté un terme moyen; on emploie une cheminée pour produire le tirage et la fumée y arrive refroidie jusqu'à 100 ou 150°.

1472. Dans toutes les dispositions de générateur, la transmission de la chaleur à travers le métal de la chaudière paraît augmentée,

quand la surface en contact avec l'eau est recouverte d'une légère couche de dépôts ; si l'on employait pour l'alimentation des eaux privées de sels calcaires, il ne faudrait commencer ce système d'alimentation qu'après la formation de cette couche de dépôts. Cependant, il faut bien se garder de laisser prendre à cette couche une épaisseur sensible, parce qu'alors la conductibilité diminue considérablement ; le mieux serait sans doute de ne pas se préoccuper de la former, les eaux que l'on emploie ne pouvant jamais être purifiées d'une façon absolue.

Il n'est pas douteux qu'il ne soit aussi très-important que la surface extérieure soit terne, pour faciliter l'absorption de la chaleur rayonnante ; la suie produit rapidement cet effet ; mais quand la couche a une trop grande épaisseur, la transmission diminue à cause de la mauvaise conductibilité de cette matière. Il est donc utile de disposer les fourneaux de façon que le nettoyage soit facile. M. Lenicque, ancien élève de l'École centrale, s'est servi, pour une chaudière à bouilleurs, d'une disposition qui permet le nettoyage pendant la marche du fourneau ; pour cela, il dispose latéralement, dans les parois en briques du fourneau, des ouvreaux placés à la hauteur du carneau qui règne sous les bouilleurs, et qu'on bouche au moyen de tampons en tôle garnis de terre réfractaire ; on peut les déboucher pendant la marche du générateur ; au moyen d'une raclette, on fait tomber la suie qui s'est amassée dans le carneau, et autour des bouilleurs, dans des fosses ménagées au droit des ouvreaux. On a constaté qu'il n'y a pas d'entraînement sensible de suie dans les carneaux supérieurs.

Quand il s'agit de chaudières tubulaires, on nettoie facilement les tubes au moyen de brosses métalliques ; ces brosses sont en fil de laiton, disposé en hélice sur un noyau en fer qu'on emmanche dans une douille soudée à un manche de longueur suffisante. Ces brosses, établies par M. Dumas-Gardeux, sont d'un bon emploi.

1473. Pour toute espèce de générateurs, il serait important de couvrir les surfaces libres d'un enduit mauvais conducteur de la chaleur et d'une épaisseur suffisante ; car on compte que la chaleur perdue par chaque mètre carré de surface exposée à l'air, correspond au moins à celle que renferme $1^k,5$ de vapeur. On place souvent un feutre grossier sous l'enveloppe en bois des chaudières découvertes, comme celles des locomotives. L'expérience ayant constaté (962) que la densité des matières filamenteuses, en nature ou en tissus, est sans influence sur leur conductibilité, il serait pos-

sible de réduire beaucoup leur poids, sans diminuer leur effet. On pourrait, en se servant de ces matières, employer aussi un enduit plastique, formé de terre ou de sable mêlé d'un peu de plâtre et de paille hachée ou de bourre. Il y a des enduits plastiques spéciaux qui peuvent servir pour les conduites de vapeur ; parmi ces derniers, on peut citer le *ciment non-conducteur de Spence*, qui paraît être d'un bon emploi. On a aussi proposé le liége pour cet usage : ce corps paraît présenter l'inconvénient de perdre sa cohésion et de s'émietter, de se réduire en poussière sous l'influence de la chaleur des conduites.

1474. Quand les surfaces sont planes ou qu'elles appartiennent à des cylindres de grand rayon, les quantités de chaleur transmises sont à peu près en raison inverse des épaisseurs ; dans tous les cas, on pourrait facilement calculer les quantités de chaleur transmises, au moyen des formules que nous avons données dans le livre VI.

1475. Il y a aussi, par la surface des fourneaux, une perte notable de chaleur, qu'on parviendrait difficilement à réduire au moyen d'enduits isolateurs. Une autre cause de perte est due à l'air qui passe à travers les joints des briques et les briques elles-mêmes quand les murs sont trop minces ; elle ne saurait être évitée d'une manière absolue par l'emploi d'un enduit extérieur, attendu que les inégalités de dilatation de la maçonnerie et de l'enduit produiraient toujours des fissures. Cette dernière cause de perte de chaleur, qui n'existe pas dans les générateurs à foyers et à circuits intérieurs, ne pourrait être supprimée que par une enveloppe métallique, séparée de la maçonnerie par un intervalle rempli d'une matière non conductrice et non combustible.

Générateurs de bateaux.

1476. Pour les bateaux, les chaudières tubulaires sont maintenant, comme je l'ai déjà dit, préférées aux anciennes chaudières à carneaux, parce qu'elles pèsent moins, qu'elles tiennent moins de place, qu'elles permettent d'élever un peu plus la pression de la vapeur et d'obtenir un plus grand effet utile du combustible. On évite, en partie du moins, les incrustations par des extractions convenables. Mais il s'en forme encore, à la longue, aux extrémités des tubes, où le mouvement de l'eau et de la vapeur éprouve plus de résistance que dans le reste de la chaudière. En outre, un peu de négligence de la part du chauffeur pour effectuer les extractions peut

compromettre la chaudière, en déterminant la formation d'une couche assez épaisse de dépôts qu'on ne peut enlever que par un travail long et pénible, ou par des moyens dangereux et qui nécessitent même quelquefois l'enlèvement des tubes et la démolition partielle de la chaudière ; l'emploi d'un foyer et d'un faisceau tubulaire amovible semble donc être un des plus grands perfectionnements qui paraissent pouvoir être faits aux chaudières marines.

1477. Il faut éviter les surfaces planes et chercher à les remplacer par des surfaces cylindriques, et, s'il est possible, par des cylindres à section circulaire, qui, comme dans les chaudières de Cornwall, offrent une grande solidité.

Pour les machines de bateaux, encore plus que pour les machines fixes, il serait important de dessécher la vapeur; car il paraît que l'entraînement de l'eau se produit plus facilement, surtout à l'embouchure des rivières, quand les eaux sont bourbeuses ; et cette eau entraînée, en opposant de très-grandes résistances aux mouvements des pistons, a produit quelquefois de graves accidents, la rupture des cylindres ou des tiges. Un fait remarquable, et qui mérite d'être signalé, c'est que ces entraînements d'eau se manifestent principalement dans les chaudières neuves, et disparaissent quelquefois lorsque leurs surfaces intérieures sont couvertes d'une légère couche d'incrustations.

On pourrait aussi produire un tirage mécanique, comme pour les générateurs fixes; il en résulterait une économie notable de combustible, parce qu'on pourrait refroidir complétement l'air brûlé (573).

Si les générateurs étaient à haute pression, à 4 ou 5 atmosphères, l'eau d'alimentation pourrait être chauffée en parcourant un cylindre d'un assez grand diamètre, disposé comme les réchauffeurs des générateurs fixes, dans lequel les dépôts s'effectueraient presque en totalité, si le cylindre avait un grand diamètre, et que la vitesse de l'eau y fût très-petite.

Générateurs des locomotives.

1478. Ces générateurs sont disposés d'une manière si avantageuse pour le service, qu'il est peu probable qu'ils éprouvent de grands changements dans leur disposition. Mais ils me paraissent susceptibles de plusieurs améliorations dans les détails.

D'abord, il n'est pas douteux qu'on ne parvienne à leur faire produire un plus grand effet utile, en augmentant l'étendue de la surface

de chauffe, soit par l'accroissement du nombre et du diamètre des tubes, soit en plaçant dans chacun d'eux, quand leur diamètre le permettrait, des lames de tôle diversement disposées, qui prendraient la température de l'air brûlé, et chaufferaient les tubes par rayonnement; cette disposition ne présenterait aucun embarras pour le nettoyage intérieur des tubes, parce que ces lames de tôle, étant seulement posées, pourraient être facilement enlevées; à la vérité, elles augmenteraient la résistance de l'air brûlé, mais l'accroissement de résistance serait très-faible. En effet, nous avons vu (1353), en parlant des locomotives, que la charge qui produisait l'écoulement était moyennement égale à p (16 + 4,93), le premier nombre représentant la résistance de la grille, et le second celle des tubes ; or, si les tubes prenaient un diamètre deux fois plus petit (leur nombre devenant quatre fois plus grand, pour que la somme des sections restât constante), la résistance $\frac{Kl}{d}$ deviendrait deux fois plus grande ; la charge pour produire l'appel deviendrait alors $p(16+986)=p.\,25{,}86$; elle serait donc augmentée dans le rapport $\frac{25{,}86}{20{,}93}=1{,}23$. En supposant que le tirage de la cheminée fût constant, la vitesse d'accès de l'air serait seulement les 0,81 de ce qu'elle était d'abord, variation qui est bien inférieure à l'excès de tirage que possèdent toujours les cheminées. Nous venons de supposer que le nombre des tubes devenait quatre fois plus grand ; on produit le même effet, d'une manière plus simple, en plaçant des diaphragmes qui divisent la section en quatre parties égales ; seulement le frottement est un peu plus grand. Comme nous l'avons vu (428), il est égal à $\frac{KC}{4S}$, C étant le contour du tuyau et S sa surface ; et comme $C=D+\frac{\pi D}{4}$, et que $S=\frac{\pi D^2}{16}$, on trouve $\frac{4Kl,32}{D}$, tandis que dans un tuyau de diamètre $\frac{D}{2}$, le frottement serait $\frac{2Kl}{D}$. On voit, d'après cela, que l'accroissement de résistance serait en général peu considérable.

Ces surfaces de chauffe indirectes produiraient sans aucun doute un accroissement notable de vaporisation. Il est toutefois important de remarquer que ces surfaces de chauffe par rayonnement ne sont efficaces que par leur haute température comparée à celle des tuyaux ; si les tuyaux étaient employés à chauffer de l'air, leur température serait beaucoup plus élevée, et les plaques transversales ne serviraient à peu près à rien, et ne feraient qu'augmenter la résistance au mouvement de la fumée.

1479. D'après ce que j'ai dit relativement aux incrustations, les

avantages qui résulteraient de l'épuration des eaux d'alimentation sont si évidents que je ne crois pas nécessaire d'insister de nouveau sur ce sujet.

1480. Un autre point, qui me semble beaucoup trop négligé, c'est la dessiccation de la vapeur. Dans les locomotives et dans les générateurs tubulaires, à faisceau compacte de tubes, les intervalles étroits des tubes devant donner issue à la vapeur qui se produit et en même temps aux courants d'eau qui marchent en sens contraire, il en résulte nécessairement une ébullition tumultueuse, très-favorable à l'entraînement de l'eau, surtout si l'eau de la chaudière est boueuse, ce qui arrive souvent. Or, les eaux entraînées ayant de très-graves inconvénients, je pense qu'il serait très-avantageux, sous tous les rapports, d'employer les moyens connus pour dessécher la vapeur.

1481. La substitution des houilles crues au coke qu'on a employé exclusivement pendant longtemps est un fait accompli aujourd'hui. L'avantage qui en résulte est très-considérable; car la chaleur perdue dans la fabrication du coke employé dans les locomotives n'étant pas utilisée, et le rendement moyen étant de 0,65, il s'ensuit que la perte du combustible s'élève à 0,35. Elle est même plus grande, parce que les gaz perdus ont une plus grande puissance calorifique que le charbon; et à cette perte il faut encore ajouter la main-d'œuvre, les déchets par le menu, et l'entretien des fourneaux. Malgré tous les essais qui ont été faits récemment, la question de la fumivorité n'est point résolue par les appareils divers qui ont été essayés. Les houilles crues, plus ou moins grasses, ont un grand inconvénient; elles se transforment progressivement en coke dans l'intervalle de deux chargements, et, pendant toute la durée de cette transformation, le foyer exige des quantités d'air décroissantes, qu'il paraît bien difficile de fournir de manière à éviter un dégagement de fumée, la production d'oxyde de carbone ou le passage à travers le foyer d'un trop grand volume d'air non altéré. La première condition n'est indispensable que pour les trains de voyageurs; les deux autres ont une très-grande influence sur l'effet utile du combustible, et la dernière sur le travail dépensé pour produire le tirage; car ce travail croît dans un plus grand rapport que le carré du volume d'air froid appelé pour brûler les mêmes poids de combustible (1351), et il est très-comparable au travail total produit.

CHAPITRE XIV

Phénomènes qui se produisent dans la transmission de la chaleur de la surface intérieure de la chaudière à l'eau.

1482. Les phénomènes dont il est question sont très-compliqués, beaucoup plus qu'on ne serait tenté de le croire au premier abord; malheureusement, ils ne sont connus que très-incomplétement, et c'est une chose d'autant plus fâcheuse, que c'est au mode de transmission de la chaleur du métal à l'eau qu'on doit attribuer un certain ordre d'explosions des générateurs. Je résumerai ce qu'on sait à ce sujet.

1483. La température de l'ébullition de l'eau dans les vases est toujours supérieure à celle de la vapeur produite. Dans les vases métalliques, la différence est de 0°,15 à 0°,20; dans des vases de verre ou de porcelaine, la différence varie de 1° à 1°,2, et l'ébullition a lieu par intermittence, en produisant des soubresauts; le sable ou les métaux en limaille, introduits dans le vase de verre, produisent une ébullition passagère et par suite un abaissement de température; on reproduit l'ébullition par l'addition d'une nouvelle quantité de sable ou de limaille, et on peut la maintenir d'une façon permanente jusqu'à ce que le liquide se soit abaissé au point précis de la température d'ébullition, en maintenant une atmosphère gazeuse sur quelques points de la masse intérieure du liquide. Lorsqu'un ballon de verre à moitié plein d'eau recouverte d'une couche d'huile a été maintenu en ébullition pendant quelques minutes pour chasser l'air contenu dans l'eau, si on laisse refroidir le ballon, et qu'on le chauffe ensuite graduellement dans un bain-marie, la température peut être portée jusqu'à 123° sans que l'ébullition se manifeste; mais à une température supérieure, il se produit subitement un grande quantité de vapeur qui brise le vase quand son orifice est étroit, et qui, dans le cas contraire, s'échappe en entraînant beaucoup d'eau. Enfin, nous avons vu que l'eau ne mouille pas les vases métalliques lorsqu'ils ont atteint une certaine température.

1484. Tous ces faits ne paraissent pouvoir s'expliquer qu'en admettant une force attractive qui s'exerce entre les molécules d'eau et entre ces molécules et les corps solides en contact; cette force attractive se change en force répulsive quand la température aug-

mente, et cette force répulsive est d'autant plus grande que la température est plus élevée. C'est le sens de la différence de l'attraction des molécules d'eau entre elles, et pour les corps solides en contact, qui fait qu'un liquide mouille ou ne mouille pas un corps solide. C'est la force répulsive de la chaleur croissant avec la température qui produit la vaporisation de l'eau à une température variable avec la pression exercée sur l'eau. Enfin, c'est la répulsion des corps échauffés qui s'oppose au contact de l'eau et des corps solides, dans les phénomènes de l'état sphéroïdal.

1485. Comme les métaux sont très-bons conducteurs de la chaleur, et que les chaudières n'ont jamais qu'une faible épaisseur, la différence de température des deux surfaces est toujours très-petite et peut être négligée. Au commencement du chauffage, lorsque l'eau est à une température peu différente de la température extérieure, comme l'eau est un corps mauvais conducteur, la chaleur se transmet peu de couche en couche ; elle ne se répartit dans la masse que par de doubles courants, résultant des différences de température et, par suite, de densité, quand l'échauffement du vase a lieu par la partie inférieure. Quand les couches de liquide qui touchent le métal ont atteint la température de l'ébullition, correspondant à la pression dans le réservoir de vapeur, elles s'élèvent encore à l'état liquide, parce que la pression qu'elles supportent excède celle du réservoir de toute la hauteur de l'eau, et elles se transforment en partie en vapeur au niveau de l'eau; mais à mesure que leur température augmente, elles se vaporisent à des hauteurs décroissantes; bientôt elles se forment sur le fond du vase, et la vapeur se détend à mesure qu'elle s'élève. Ainsi, la température de la vaporisation au fond du vase est plus grande que celle du réservoir de vapeur ; mais la différence est en général très-petite ; car, pour une chaudière renfermant une hauteur d'eau de $10^m,33$, la différence de température serait celle qui correspond à une différence de pression de 1 atmosphère; la pression dans le réservoir étant de 1 atmosphère 1/2, la différence de température serait de 16° ; si la pression était de 5 atmosphères dans le réservoir, l'excès de température serait seulement de 7°.

Dans ce que nous venons de dire, nous n'avons pas fait intervenir l'attraction du liquide pour le métal, mais il est évident que si cette attraction est notable, elle s'opposera à la vaporisation, qui n'aura lieu qu'à une température plus élevée, quand la force répulsive de la chaleur aura contre-balancé cette attraction; alors l'ébullition ne sera plus continue; elle aura lieu brusquement, à des intervalles

plus ou moins rapprochés, parce que l'eau en contact avec le métal devra prendre constamment un certain excès de température sur l'eau environnante.

1486. Dans tous les cas, il est très-probable que les bulles de vapeur, avant de se détacher, prennent d'abord la forme d'une demi-sphère dont la base s'appuie sur la chaudière, et qui se complète progressivement et ne se détache que quand elle ne touche plus la chaudière que par un cercle très-petit relativement à son diamètre ; du moins c'est ce qui arrive pour l'air qui se dégage de l'eau par une diminution de pression. S'il en était réellement ainsi, tous les points de la surface intérieure ne seraient pas constamment mouillés par l'eau, et par conséquent la température de cette surface serait plus élevée que celle de l'eau d'une quantité très-notable, et bien supérieure à la différence très-petite qu'exigerait la transmission régulière de la chaleur. Mais alors n'y aurait-il pas à craindre que, si la production de vapeur était très-active, la différence de température du métal et de l'eau n'atteignît celle qui empêcherait l'eau de mouiller le métal, circonstance qui arrêterait l'ébullition, pour la produire avec explosion lorsque, par une circonstance quelconque, la tempéture du métal s'abaisserait ?

1487. L'expérience ayant à peu près démontré que les chaudières acquièrent une plus grande puissance de vaporisation, quand les surfaces intérieures sont couvertes d'une légère couche de dépôt, il n'est pas douteux que ces matières ne transmettent leur chaleur à l'eau plus facilement que les métaux, parce que les bulles de vapeur se dégagent plus rapidement sur elles que sur les surfaces métalliques ; il faudrait bien se garder toutefois de laisser prendre à ce dépôt une épaisseur assez notable, qui, indépendamment des dangers possibles pouvant en résulter, amènerait une transmission plus lente de la chaleur. Le mieux sera, en général, de se préoccuper plutôt d'empêcher le dépôt que d'en favoriser la formation.

1488. Indépendamment de ces incrustations, qu'on peut produire avec le temps, en employant des eaux renfermant des sels calcaires, il serait du plus grand intérêt d'augmenter la surface de la transmission de la chaleur à l'eau. Cet accroissement ne pourrait s'obtenir que par des appendices intérieurs, qui présenteraient les plus graves inconvénients si les eaux formaient des dépôts et surtout des incrustations ; aussi, ne pourraient-ils être employés que lorsque les eaux d'alimentation auraient été purgées des sels calcaires qu'elles contenaient. Des appendices extérieurs faciliteraient évidem-

ment la transmission de la chaleur de l'air brûlé à la chaudière.

Dans l'ouvrage de sir W. Willams, sur la combustion de la houille, se trouvent des expériences qui confirment ce que je viens de dire sur l'influence des appendices. Trois vases métalliques pleins d'eau, de même forme et de mêmes dimensions, étaient traversés chacun par un tuyau horizontal rectangulaire, de même surface pour les trois vases ; ces tuyaux communiquaient par un bout avec un bec de gaz, et par l'autre avec une cheminée ; le premier tuyau était libre dans toute son étendue ; le second portait à l'intérieur un certain nombre de pointes métalliques perpendiculaires à la surface ; le troisième renfermait le même nombre de pointes, mais disposées à l'extérieur et à l'intérieur. En brûlant dans le bec le même volume de gaz dans le même temps, la quantité d'eau évaporée dans le premier vase a été de 4 livres 14 onces ; dans le second, de 7 livres 14 onces ; et dans le dernier, de 8 livres 5 onces.

Il n'est pas douteux qu'on ne parvînt encore à augmenter la transmission de la chaleur, en renouvelant rapidement l'eau qui touche la chaudière, de manière à enlever les bulles de vapeur qui restent un certain temps adhérentes au métal (1486) ; mais cette agitation de l'eau amènerait une grande complication.

On parviendrait aussi très-probablement à accroître la vaporisation, si l'on pouvait placer dans l'intérieur du générateur une surface intérieure disposée de manière à séparer, du moins en grande partie, les courants de vapeur qui s'élèvent et les courants d'eau qui descendent.

LIVRE VIII

DISTILLATION.

1489. La distillation a pour objet de séparer une substance volatile d'une ou de plusieurs autres qui sont fixes, ou dont la température de volatilisation est plus élevée.

Nous examinerons successivement les différents cas qui peuvent se présenter, en commençant par ceux qui n'exigent que les appareils les plus simples.

CHAPITRE PREMIER

Distillation simple.

1490. La distillation est simple lorsque d'un mélange de matières fixes et volatiles on veut séparer toutes les matières volatiles.

Le cas dont il s'agit est, par exemple, celui de la distillation de l'eau; car les substances étrangères qu'elle renferme ordinairement sont des sels fixes; ce serait aussi le cas d'un mélange d'alcool et de sucre, d'alcool et de sels, etc. La distillation des liqueurs vineuses, au contraire, n'est pas une distillation simple, parce qu'elles renferment deux substances vaporisables, de l'eau et de l'alcool. Cependant, si l'on ne voulait pas séparer ces deux substances l'une de l'autre, la distillation des matières fermentées rentrerait encore dans le cas que nous considérons.

Lorsque les matières à distiller ne renferment qu'une seule substance volatile, l'opération consiste : 1° à soumettre le mélange à l'action de la chaleur pour réduire en vapeur le corps vaporisable; 2° à condenser les vapeurs de manière à recueillir le corps qui en résulte, et qui peut être solide ou liquide.

La formation des vapeurs peut avoir lieu, soit par l'action directe d'un foyer, soit par la vapeur, ou par tout autre véhicule de la chaleur.

1491. *Distillation simple à feu nu.* — Dans ce mode de chauffage, la formation des vapeurs s'effectue dans des appareils semblables à ceux que nous avons décrits en parlant de la vaporisation.

Le métal dont on doit faire usage pour la construction des chaudières dépend de la nature de la substance à distiller. Par exemple, pour la distillation du soufre, du mercure, du zinc, le fer est le seul métal que l'on puisse employer ; la fonte est préférable à la tôle, qui s'oxyderait trop facilement, et dont les joints seraient difficiles à fermer exactement, surtout si la matière à distiller était du soufre.

Les soupapes de sûreté sont en général inutiles, parce que, comme nous le verrons plus loin, l'espace où la condensation des vapeurs a lieu communique librement avec la chaudière par un tuyau d'un diamètre suffisant, et que son extrémité est toujours ouverte à l'air. Cependant, il est des cas où, la distillation ayant lieu avec pression, les soupapes de sûreté sont indispensables.

Quant au tuyau de dégagement, ses dimensions peuvent se calculer comme pour la vapeur d'eau. Mais, en général, on lui donne un diamètre beaucoup plus grand que celui qui est indiqué par la théorie, parce qu'il n'en résulte jamais d'inconvénient, et qu'au contraire, il y a souvent un très-grand avantage à avoir un grand tuyau de conduite. C'est ce qui a lieu, par exemple, dans la distillation des vins, où il est nécessaire que les vapeurs séjournent le moins de temps possible dans la chaudière, et n'y soient soumises qu'à une faible pression. Dans la distillation du soufre, le canal de dégagement doit être beaucoup plus considérable encore, parce que ce canal est sujet à s'obstruer par la solidification des vapeurs.

Les dimensions de toutes les parties de l'appareil dépendent, comme nous l'avons déjà dit, de la quantité de vapeur que l'on veut obtenir dans un temps donné ; car, de cet élément, on peut déduire la quantité de combustible à consommer, l'étendue de la surface de chauffe de la chaudière, et toutes les autres parties de l'appareil.

1492. Tous ces calculs ont déjà été faits pour l'eau ; nous allons les appliquer à d'autres substances.

Occupons-nous d'abord de l'alcool, et supposons qu'il s'agisse de de distiller par heure 100 kilogrammes d'alcool qui ne soit mêlé qu'avec des substances fixes. Commençons par chercher la quantité de chaleur nécessaire à la vaporisation de l'alcool. L'alcool, dont l'ébullition a lieu à 78° 41, absorbe dans son changement d'état 207 calories ; et comme la chaleur spécifique de l'alcool est 0,622, il en résulte

que 1 kilogramme d'alcool à 0°, pour être réduit en vapeur, absorbe un nombre d'unités de chaleur égal à $78,41 \times 0,622 + 207 = 255$. C'est à peu près les $\frac{4}{10}$ de la chaleur qui serait absorbée par l'échauffement à 100° et la vaporisation d'un même poids d'eau. Or, on sait qu'en général 1 kilogramme de houille vaporise 6 kilogrammes d'eau dans les chaudières à foyer extérieur ; par conséquent, 1 kilogramme de houille pourra réduire en vapeur $\frac{6 \times 10}{4} = 15$ kilogrammes d'alcool.

Quant à la surface de chauffe de la chaudière, nous savons que, dans un appareil bien construit et qui donne 6 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, chaque mètre carré produit au moins 15 à 20 kilogrammes de vapeur d'eau ; or, cette quantité de chaleur qui passe à travers le métal, pourra volatiliser $\frac{10}{4}$ fois plus d'alcool, c'est-à-dire de 37 à 50 kilogrammes. Ainsi, pour calculer la surface de chauffe, il faudra compter au moins sur 37 kilogrammes de vapeur d'alcool par mètre carré et par heure. On pourrait, comme nous l'avons déjà fait observer, obtenir une quantité de vapeur beaucoup plus grande, mais la chaleur ne serait pas employée aussi utilement.

Ainsi, pour le cas que nous avons supposé, la surface de chauffe de la chaudière devrait être de $\frac{100}{37} = 2^{m},7$; et la quantité de combustible à brûler par heure serait $\frac{100}{15} = 6^{k},66$. Les dimensions de la grille, la section de la cheminée, etc., se déduiraient facilement de ces données et de la hauteur de la cheminée.

1493. Supposons maintenant que nous ayons à distiller un mélange d'eau et d'alcool, cas ordinaire de la distillation des vins, et que l'alcool soit à l'eau comme 1 est à 24. L'expérience a appris que, pour obtenir presque tout l'alcool contenu dans ce liquide, il faut réduire en vapeur 0,22 de la masse totale, et que la liqueur obtenue porte à l'aréomètre de Baumé le titre moyen de 17°, et se compose de $\frac{1}{24} = 0,042$ d'alcool, et de $0,22 - 0,042 = 0,178$ d'eau.

Si, par exemple, il s'agissait de distiller 1,000 kilogrammes de vin par heure, il faudrait vaporiser 220 kilogrammes de liqueur, composés de 42 kilogrammes d'alcool pur et de 178 kilogrammes d'eau. La quantité de houille nécessaire serait, d'après ce qui précède,

Pour la vaporisation de 42 kilogrammes d'alcool, $\frac{42}{14} = 2^{k},80$;

Pour la vaporisation de 178 kilogrammes d'eau, $\frac{178}{6} = 29,66$;

Pour l'échauffement à 100° du liquide restant, $\frac{780}{39} = 20,00$.

TOTAL de la dépense du combustible... 52,46

Il est facile, d'après cela, de calculer la surface de chauffe de la chaudière ; car il doit passer à travers ses parois une quantité de chaleur égale à celle qui serait nécessaire à la vaporisation de $52^k,46 \times 6 = 314^k,76$ d'eau, ce qui, à raison de 15 kilogrammes de vapeur par mètre carré, donne $20^{mq},492$.

1494. On pourrait calculer de la même manière la quantité de combustible et les dimensions de la chaudière nécessaires pour distiller, par heure, une quantité donnée de tout autre corps volatil, si l'on connaissait exactement sa capacité calorifique et la chaleur qu'il absorbe en se volatilisant.

Si la température de l'ébullition du corps était beaucoup plus élevée que celle de l'eau, la même surface de chaudière ne laisserait pas passer dans le même temps la même quantité de chaleur que dans le cas où elle est employée à vaporiser de l'eau. Il y a alors une très-grande perte de chaleur ; mais on peut toujours en utiliser une partie, en plaçant à la suite de la chaudière de distillation une ou plusieurs autres chaudières dans lesquelles la matière commence à s'échauffer.

1495. *Appareils de condensation.* — Immédiatement après leur sortie de la chaudière, les vapeurs doivent arriver dans un espace dont les parois, en absorbant leur chaleur latente, les fassent repasser à l'état liquide. Il en est du volume d'un condensateur comme du volume d'une chaudière ; il est sans influence sur l'effet produit, car c'est uniquement par les parois de l'appareil que la chaleur passe pour se répandre au dehors ; par conséquent, toutes choses égales d'ailleurs, la quantité de vapeur qui peut être liquéfiée dans le condensateur est proportionnelle à sa surface. On n'emploie pour agent extérieur de refroidissement que l'air et l'eau, et dans quelques circonstances, le liquide qui doit être ensuite distillé ; dans les appareils d'une grande dimension, l'enveloppe du condensateur est en terre cuite, en étain, en plomb, en cuivre ou en fer.

Il est facile de déterminer l'étendue de la surface du condensateur, quand on connaît la nature du fluide qui doit absorber la chaleur, sa température moyenne, la quantité de vapeur à condenser dans un

temps donné, la chaleur que cette vapeur émet par sa condensation, et enfin la quantité de chaleur qui peut pa ser dans un temps déterminé à travers un mètre carré de la matière du condensateur. Ces derniers éléments peuvent facilement se déduire des résultats suivants, qui ont été obtenus pour la vapeur d'eau.

1496. Lorsque la condensation a lieu par l'air, on pourrait facilement, connaissant la forme, la position et les diamètres des tuyaux, calculer l'effet moyen qu'ils peuvent produire, d'après ce que nous avons dit (923,924); mais on peut compter moyennement sur une condensation de $1^k,5$ de vapeur d'eau par mètre carré et par heure et pour une différence de température de 75°. Quand la condensation a lieu par l'eau, la quantité de vapeur d'eau condensée par mètre carré et par heure, pour une différence de température de 1°, est de 9 kilogrammes ou $1^k,39$, suivant que le condensateur est un petit tuyau ou un vase d'une grande capacité d'où l'air ne peut pas être facilement expulsé ; on déduirait facilement de ces derniers nombres, la quantité de vapeur d'une nature quelconque, qui serait condensée dans les mêmes circonstances, lorsqu'on connaîtra la capacité calorifique de cette vapeur ainsi que sa chaleur latente.

1497. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de condenser par heure 100 kilogrammes de vapeur d'alcool à 22° Baumé, dans un condensateur formé d'un tuyau métallique d'un petit diamètre, renfermé dans un vase plein d'eau maintenu à la température moyenne de 20°. Il faut commencer par chercher la quantité de chaleur émise par la condensation de 1 kilogramme de vapeur de cette substance, et la comparer à celle que dégage 1 kilogramme de vapeur d'eau pure. Or, l'alcool à 22° Baumé est composé de 64 parties d'eau et de 36 d'alcool pur; par conséquent, 1 kilogramme de vapeur d'alcool à 22° renferme $0^k,64$ de vapeur d'eau et $0^k,36$ de vapeur d'alcool pur ; et comme 1 kilogramme de vapeur d'eau émet en se condensant 550 (1) unités de chaleur, et 1 kilogramme de vapeur d'alcool seulement 207, il en résulte que la quantité de chaleur émise par la condensation de 1 kilogramme d'alcool à 22° sera $550 \times 0,64 + 207 \times 0,36 = 426$; ainsi, la quantité de chaleur émise par la condensation de 1 kilogramme d'alcool à 22° est égale à $\frac{426}{550} = 0,77$ de celle qui est développée par la condensation de 1 kilogramme de vapeur d'eau.

(1) Nous prenons le nombre 550 pour chaleur latente moyenne de la vapeur d'eau; nous avons vu cependant que ce nombre varie avec la pression, mais l'erreur commise est insensible et ne modifie pas les résultats du calcul.

1498. Examinons maintenant la manière dont les condensateurs sont disposés. Dans les petits appareils de laboratoire, le condensateur est ordinairement un ballon que l'on place à l'extrémité du col de la cornue ou du vase distillateur, et qu'on environne d'un linge mouillé. On emploie aussi quelquefois des alambics en cuivre, dont le chapeau, de forme hémisphérique, est environné d'eau que l'on renouvelle de temps en temps. La chaudière porte ordinairement le nom de *cucurbite*.

Dans les appareils d'une grande dimension, on peut employer des réfrigérants à eau ou à air, ou du moins à liquide et à air; nous nous occuperons d'abord des premiers.

1499. *Réfrigérants à eau.* — On a employé d'abord un tube droit en métal, traversant une cuve pleine d'eau ; mais, pour condenser une quantité considérable de vapeur, il aurait fallu des caisses d'une longueur démesurée. Glauber, en 1650, eut le premier l'idée heureuse de plier le tuyau en hélice, de manière à en loger une grande

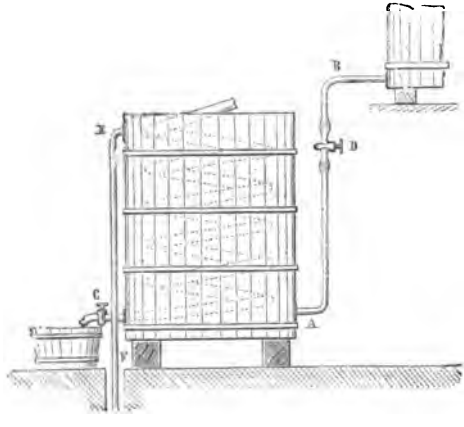


Fig. 305.

longueur dans une cuve d'une petite dimension. Cet appareil, maintenant généralement usité, est représenté figure 305. On le désigne sous le nom de *serpentin ;* l'extrémité supérieure est en communication avec la chaudière où se forment les vapeurs, et la partie inférieure, munie d'un robinet C, avec le vase qui doit recevoir le liquide provenant des vapeurs condensées. L'eau qui sert à refroidir arrive par le tuyau BA et s'écoule par le tuyau EF. On règle le volume qui s'écoule au moyen du robinet D. La surface d'un serpentin est évidemment égale au contour de la section transversale multiplié par la

longueur de l'hélice. Cette longueur peut facilement se calculer, car chaque spire est égale à l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont la base est le développement de la projection horizontale de la spire, et l'autre côté la hauteur du pas.

1500. Lorsque le condensateur est formé d'un tube d'un petit diamètre, et qu'il a un excès de surface, comme cela arrive toujours, la vapeur ne se propage qu'à une certaine distance, variable avec l'activité du foyer ; au delà se trouve de l'air saturé de vapeurs à une température décroissante.

Pour que la condensation s'opère complétement dans les appareils, il faut nécessairement que l'eau se renouvelle d'une manière continue, avec une vitesse suffisante.

1501. Si le liquide qui environne l'appareil de condensation était sans cesse agité, de manière que dans tous ses points il eût exactement la même température, la quantité de vapeur condensée dans un temps donné ne changerait pas sensiblement, parce que la quantité de chaleur transmise à travers les surfaces du conduit de vapeur, étant proportionnelle à l'excès de température de la vapeur et de l'eau, est la même quand la température du liquide n'est pas uniforme dans tous les points, ou qu'elle est égale partout à la température moyenne. Mais on se garde bien de produire cette agitation, qui exigerait un certain travail, et qui emploierait beaucoup trop d'eau de condensation. Toujours la vapeur arrive dans le condensateur de haut en bas, et l'eau ou le liquide de condensation marche de bas en haut, et s'écoule par la partie supérieure sensiblement à la température de la vapeur. Il résulte de cette disposition qu'on emploie le volume d'eau minimum pour la condensation. Ce volume peut se calculer facilement, car il est égal au volume d'eau, à la température de la vapeur, qui absorbe, à partir de sa température à l'entrée, une quantité de chaleur égale à celle qui se trouve dans la vapeur à condenser.

1502. La figure 305 représente la disposition ordinaire des appareils de condensation. L'eau chaude s'échappe d'une manière continue par un tuyau EF placé vers le sommet de la cuve, et l'eau froide arrive par un tuyau latéral BA qui pénètre dans la cuve par la partie inférieure. On règle à volonté le courant d'eau froide à l'aide du robinet D ; l'eau froide se trouve dans un réservoir supérieur où elle arrive soit naturellement, soit au moyen de pompes.

1600. Pour éviter d'élever l'eau froide dans un réservoir supérieur, on a proposé d'alimenter la cuve du serpentin par un appareil très-

simple fondé sur le même principe que le jeu de siphon ordinaire. Le tuyau d'alimentation *ab* (*fig.* 306) plonge dans un réservoir d'eau froide M, placé au point le plus bas, mais dont la distance au sommet de la cuve ne peut excéder 10m,33. La partie supérieure de la cuve est exactement fermée par un couvercle ; un tube *cd* part du haut de la cuve et descend latéralement au-dessous du niveau de l'eau dans le réservoir M. Il est évident, d'après cela, que la cuve

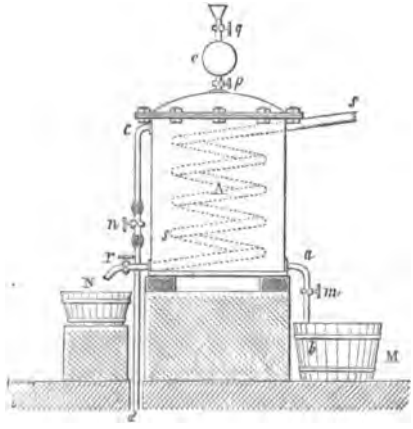


Fig. 306.

fait partie de la branche ascendante d'un siphon ordinaire, et qu'aussitôt que l'appareil sera complétement rempli d'eau, le liquide du réservoir M s'élèvera continuellement dans la cuve pour redescendre par le tube *cd*. Mais pour que cet appareil puisse fonctionner, il est nécessaire d'y ajouter quelques dispositions de détail importantes : 1° pour amorcer cette espèce de siphon, il faut placer sur les deux tubes *ab* et *cd* deux robinets *m* et *n*, que l'on maintient fermés pendant qu'on remplit le siphon d'eau froide par une ouverture supérieure, et que l'on ouvre aussitôt qu'il est rempli et qu'on a fermé l'ouverture d'introduction de l'eau ; 2° pour éviter que l'écoulement ne s'arrête par le dégagement de l'air qui est dissous dans l'eau et que la chaleur met en liberté, il faut mettre au point culminant du siphon un petit réservoir *e* muni de deux robinets *p* et *q* ; pendant que le siphon est en activité, le robinet *p* est ouvert et le robinet *q* fermé ; l'air dégagé se rend dans le réservoir *e*, et de temps en temps on le laisse échapper en ouvrant le robinet *q* après avoir fermé le robinet *p* ; mais toutes les fois qu'on remet le récipient *e* en communication avec le siphon, il faut avoir soin de le remplir exacte-

ment d'eau. Le robinet *q* est surmonté d'un entonnoir qui sert à amorcer le siphon. Cet appareil est compliqué, et il cesserait de fonctionner dès que l'eau arriverait à une certaine température ; il ne paraît pas susceptible d'un bon emploi.

1504. Les serpentins sont faciles à construire ; les tuyaux de fer étiré, d'une certaine épaisseur et d'un petit diamètre, se courbent facilement à froid, sans s'aplatir ; quant aux tuyaux de cuivre mince, de plomb ou d'étain, on les courbe aisément sans les déformer, lorsqu'ils ont été remplis de mastic. Pour mieux utiliser la surface de condensation ou pour en placer une plus grande étendue dans la même capacité, on emploie quelquefois la disposition représentée par la figure 307. L'appareil est formé de plusieurs hélices concentriques que la vapeur parcourt simultanément.

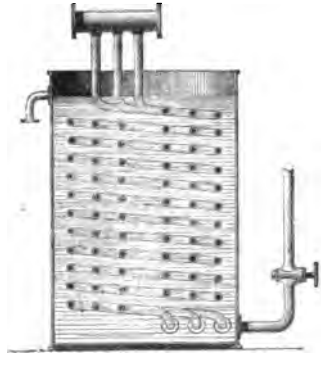


Fig. 307.

1505. Pour économiser l'eau de condensation, ou pour l'obtenir à une température plus élevée quand sa chaleur doit être utilisée, on emploie les dispositions représentées par les figures 308, 309, 310. Dans la première, un cylindre central oblige l'eau qui s'élève à passer près du tuyau qui forme le serpentin. Dans la seconde, l'appareil est composé de deux serpentins qui ont un axe commun ; la vapeur parcourt le serpentin central, et l'eau parcourt en sens contraire

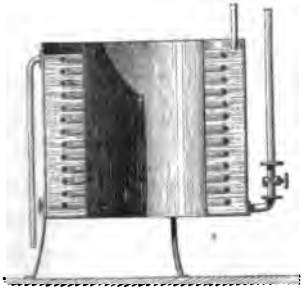


Fig. 308.

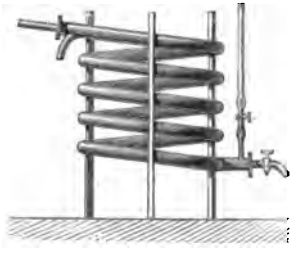


Fig. 309.

l'intervalle qui sépare les deux tuyaux. Cette disposition est facile à exécuter quand les tuyaux sont d'un petit diamètre ; avant de les

courber, on introduit le petit tuyau dans le grand, après avoir placé de distance en distance, sur sa surface, de petites saillies qui l'empêchent de toucher la surface du tuyau enveloppant, et on les courbe ensuite. Si les tuyaux ont un grand diamètre, on les laisse en ligne droite, et on les dispose comme l'indique la figure 313, quand ils ne doivent occuper qu'une petite longueur ; le tuyau à vapeur est plié de manière à présenter une suite de parties rectilignes qui sont environnées par le tuyau destiné à conduire l'eau de condensation, et les intervalles des tuyaux communiquent par de petits tubes.

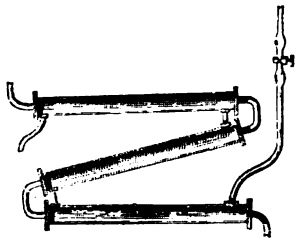


Fig. 310.

1506. On a cherché à construire des condensateurs d'une autre forme, soit pour loger une plus grande surface de condensation dans le même espace, soit pour pouvoir les nettoyer facilement. Avant de les décrire, nous ferons d'abord remarquer qu'une étendue suffisante de la surface refroidissante n'est pas la seule condition à remplir ; il en est d'autres qui sont aussi très-importantes : 1° Il faut que les condensateurs soient disposés de manière que la vapeur puisse expulser complétement l'air qui les remplit au commencement de l'opération ; car la présence de l'air diminue considérablement la faculté condensante de la surface ; on se rendra facilement compte de ce fait en observant que l'air conduit très-mal la chaleur, et que le refroidissement n'ayant sensiblement lieu que sur les couches en contact avec le métal, la condensation ne fait de progrès qu'avec le renouvellement de ces couches qui ne s'effectue alors que lentement. Il en est tout autrement quand l'espace est uniquement occupé par la vapeur ; car la vapeur en contact avec le métal produit, en se condensant, un vide instantané qui est aussitôt occupé par de nouvelles vapeurs. Ainsi le fait même de la condensation produit un appel des vapeurs contre la surface refroidissante. 2° Il est parfaitement inutile de forcer la vapeur à serpenter contre la surface refroidissante, du moins quand la disposition de l'appareil permet d'expulser l'air par l'introduction des premières vapeurs ; d'après ce qui précède, la raison en est évidente. 3° Enfin l'appareil doit être disposé de manière que l'extrémité du canal par laquelle s'écoule le liquide condensé, et qui est en communication avec l'air, se trouve en contact avec l'eau la plus froide, afin que le liquide soit à une température peu élevée et émette peu de vapeurs après sa sortie.

1507. Le premier appareil de condensation qu'on a essayé de substituer au serpentin, est composé (*fig.* 311) de deux cônes tronqués ABCD et A'B'C'D' ayant un même axe; l'intervalle est exactement fermé en bas par un diaphragme annulaire qui est soudé avec chacun des cônes; il est fermé en haut par un couvercle à rebords plongeant dans une rigole annulaire remplie d'eau; la partie inférieure est un peu inclinée et porte au point le plus bas un tuyau à robinet; à la partie supérieure se trouve un tuyau F destiné à recevoir un tube d'un plus petit diamètre qui amène les vapeurs de la chaudière. Cet appareil est, comme le serpentin, fixé à demeure dans une cuve dont l'eau s'écoule par la partie supérieure et se renouvelle par le bas; il est d'une construction simple, et, ce qui est très-avantageux dans un grand nombre de cas, d'un nettoyage facile, le couvercle supérieur pouvant s'enlever aisément. Cet appareil, connu depuis longtemps, a été employé et a donné de bons résultats.

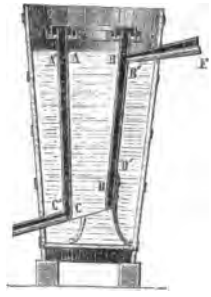


Fig. 311.

Solimani, dans son alambic que nous décrirons plus loin, a employé un condensateur de forme différente, composé de deux lames de cuivre pliées parallèlement en zigzag, et qui laissent entre elles un intervalle d'une hauteur constante fermé latéralement par des lames de cuivre exactement soudées aux premières. Cet appareil reçoit par la partie supérieure le tuyau d'arrivée des vapeurs, et porte à la partie inférieure un tuyau à robinet par lequel s'écoule le liquide condensé; il est, comme le précédent, fixé dans une cuve pleine d'eau. Pour cette disposition, il est plus avantageux d'employer une cuve carrée.

On pourrait aussi employer une disposition que l'on doit à M. Brunel, et dont cet ingénieur s'est servi dans une machine où il se proposait d'utiliser l'acide carbonique comme force motrice. Ce réfrigérant est composé de deux caisses cylindriques exactement fermées, et qui communiquent entre elles par un grand nombre de tubes parallèles, dont les extrémités sont exactement soudées au fond inférieur de la première caisse et au fond supérieur de la seconde; la première caisse reçoit le tuyau qui amène les vapeurs, et la seconde un tuyau à robinet pour l'écoulement du liquide qui provient de la condensation; le fond inférieur de la seconde caisse est un peu incliné, et l'appareil se place, comme les précédents dans une cuve en bois pleine d'eau.

On pourrait se servir d'un tuyau à section rectangulaire, dont un des côtés serait très-grand par rapport à l'autre et qui serait contourné en spirale. On a aussi employé la disposition représentée dans la figure 312 ; c'est une caisse cylindrique AA', renfermant une série de vases lenticulaires CC', DD', EE'..., qui communiquent entre eux ; chacun d'eux renferme une calotte isolée *bb*, *cc*, *dd*..., qui oblige la vapeur à suivre la surface supérieure de la lentille.

1508. Toutes ces dispositions ont le grand inconvénient de ne pas permettre l'expulsion complète de l'air, et par suite de produire moins d'effet utile à surface égale que les serpentins. Les serpentins, dont on peut multiplier le nombre à volonté, doivent être préférés aux autres dispositions, à moins que les vapeurs ne forment des dépôts qui ne pourraient pas être enlevés par un lavage ; dans ce cas, il faudrait employer l'appareil figure 312, ou un appareil composé de tubes verticaux communiquant par leurs extrémités avec deux boîtes munies de couvercles faciles à enlever.

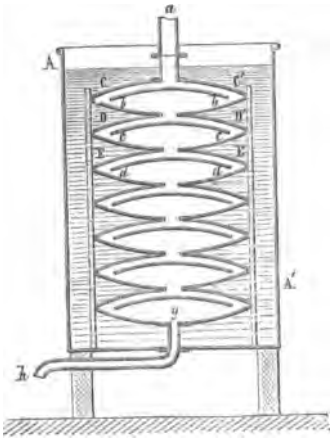


Fig. 312.

Nous avons donné précédemment le moyen de calculer la surface d'un condensateur dans chaque cas particulier ; mais il sera toujours avantageux de prendre une surface un peu plus grande, afin de refroidir le liquide condensé.

1509. Dans les opérations suivies, on peut utiliser la chaleur qui provient de la condensation des vapeurs pour chauffer le liquide qui doit servir à l'opération suivante, comme cela se pratique dans les distilleries de vin. Examinons quelle est l'importance de l'économie de combustible qui résulte de cette disposition.

S'il s'agissait de la distillation de l'eau ordinaire, la vaporisation du liquide introduit dans la chaudière devant être complète, on ne pourrait utiliser qu'une faible partie de la chaleur de condensation ; en effet, la vapeur d'eau émettant par sa condensation une quantité de chaleur capable de porter de 0° à 100° 5 fois $\frac{1}{2}$ son poids d'eau, et la charge de la chaudière étant égale à la quantité de vapeur formée, on ne pourrait profiter que de $\frac{1}{5}$ de la chaleur de condensation.

Dans la distillation des vins, on peut en utiliser une quantité beaucoup plus considérable, parce que la quantité de vapeur condensée est toujours beaucoup plus petite que la charge de la chaudière. Par exemple, les vins du Midi, qui contiennent ordinairement $\frac{1}{8}$ de leur poids d'eau-de-vie à 22°, doivent être réduits par la distillation à peu près aux $\frac{78}{100}$ de leur volume primitif pour être épuisés d'alcool ; la quantité de liquide vaporisé est donc égale aux $\frac{22}{100}$ de leur volume ; alors la chaleur émise par la condensation peut être en totalité employée à chauffer la charge de l'opération suivante. En effet, supposons que les opérations successives s'exécutent sur 100 kilogrammes ; la quantité de vapeur fournie par chaque opération sera de 22 kilogrammes. Or nous avons déjà vu que la quantité de chaleur produite par la condensation de chaque kilogramme de vapeur est de 426 unités de chaleur ; par conséquent, celle qui résultera de la condensation de 22 kilogrammes sera de 9372 ; en admettant, ce qui est une approximation bien suffisante, que la capacité calorifique du vin soit égale à celle de l'eau, cette quantité de chaleur pourra élever les 100 kilogrammes de vin de 0° à 93° 72. Ainsi on voit que dans ce cas la chaleur dégagée par la condensation pourra être utilisée en totalité.

1510. Lorsqu'on emploie la chaleur dégagée par la condensation, on se sert toujours de deux serpentins ; l'un pour chauffer le liquide de l'opération suivante, l'autre pour refroidir le liquide qui sort du premier condensateur et pour liquéfier les dernières portions de vapeurs.

1511. *Réfrigérants à air.* — Les réfrigérants à air doivent avoir une surface beaucoup plus grande que celle des réfrigérants à liquides, attendu que, pour la même différence de température, la quantité de chaleur qui traverse la surface du condensateur est beaucoup plus petite dans le premier cas que dans le second. La surface d'un réfrigérant à air devrait être à peu près 200 fois plus grande que celle d'un réfrigérant à eau.

On pourrait cependant diminuer beaucoup l'étendue de la surface des réfrigérants à air, en augmentant la vitesse de l'air qui l'environne ; et cet accroissement de vitesse pourrait être produit par la chaleur même de l'air échauffé ; il suffirait, pour cela, de plier le tuyau en hélice cylindrique ou conique, et de l'environner d'un cylindre d'une certaine hauteur, ouvert par les deux bouts ; ce tuyau se comporterait comme une cheminée ordinaire ; l'air entrerait par

la partie inférieure, s'échaufferait contre le tuyau en condensant la vapeur qu'il renferme, et se renouvellerait avec une vitesse qui dépendrait à la fois de la hauteur du cylindre enveloppant et de la température que prendrait l'air. Les figures 313 et 314 représentent la disposition dont il est question. Dans la première, il n'y a qu'un seul serpentin, avec un cylindre intérieur fermé à la partie supérieure ; ce cylindre serait avantageusement remplacé par un second serpentin que la vapeur parcourrait, en même temps que le premier, de haut en bas. Dans la figure 314, l'hélice du serpentin est conique; cette forme est plus avantageuse que la première, parce que l'air est plus divisé. On augmenterait la vitesse de l'air, en faisant communiquer le cylindre avec le cendrier d'un foyer consommant beaucoup d'air, ou avec une cheminée ayant un grand excès de tirage.

L'air chaud pourrait être utilisé ; mais, dans le cas où l'on aurait un emploi de la chaleur produite, il serait toujours plus commode de condenser par l'eau, dont on utiliserait ensuite la chaleur, à moins pourtant qu'il ne s'agît de chauffer et de ventiler des ateliers ou des séchoirs.

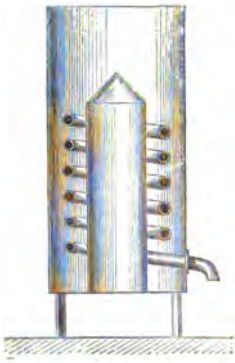


Fig. 313.

Fig. 314.

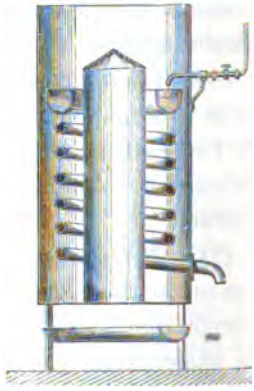


Fig. 315.

1512. Lorsqu'on ne peut pas employer utilement la chaleur de condensation absorbée par de l'air ou de l'eau, et qu'il est important de diminuer le volume d'eau employée, il faut se servir de la disposition indiquée dans la figure 315. L'appareil se compose d'un serpentin ordinaire, environné d'un cylindre ouvert par les deux bouts, comme dans la figure 313, mais le serpentin est surmonté d'une rigole annulaire, dont le fond est percé d'un grand nombre de petits trous par lesquels de l'eau s'écoule constamment ; cette eau tombe

en recouvrant toute la surface du serpentin, elle s'échauffe et donne naissance à des vapeurs qui sont entraînées par le courant d'air. Il est évident que par ce moyen on pourra condenser les vapeurs qui parcourent le serpentin, en consommant une quantité d'eau plus petite que le poids de la vapeur condensée, attendu qu'une partie de la chaleur est absorbée par l'air. Mais la surface de condensation, quoique plus petite que celle qu'exigerait le refroidissement par l'air seul, serait plus grande que si le serpentin était immergé dans un liquide. Cette disposition serait surtout avantageuse pour évaporer une dissolution saline ou un sirop ; nous y reviendrons en parlant de l'évaporation.

1513. Nous terminerons ce qui est relatif à la distillation simple par la description de l'appareil employé par M. Freycinet pour la

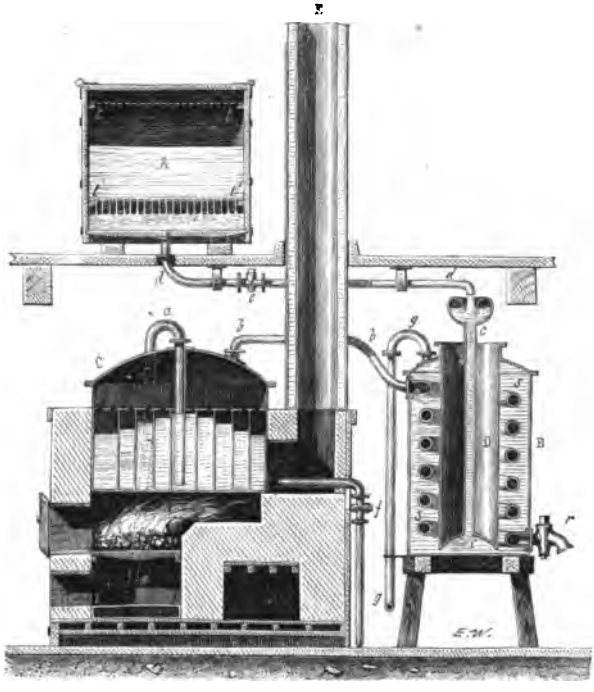


Fig. 316.

distillation de l'eau de mer sur les navires. La figure 316 représente une coupe verticale de cet appareil.

Le vase A est le réservoir d'eau disposé de manière à servir de filtre. A cet effet, une toile métallique *tt*, placée à la partie supérieure,

arrête les corps étrangers que l'eau entraîne avec elle, et un second tamis *t't'*, placé à la partie inférieure et plus fin que le premier, est destiné à rendre la filtration plus complète. L'eau, en sortant du vase A, se rend par le tube *dd*, muni du robinet *e*, dans le réfrigérant B, pour produire la condensation de la vapeur d'eau. *cc* est le tube qui conduit l'eau à l'extrémité du serpentin *ss*, afin de rendre le refroidissement méthodique. C, chaudière de distillation d'où la vapeur s'échappe par le tuyau *bb* pour se rendre au serpentin. Sur le fond de la chaudière on a fixé une spirale que l'eau parcourt du centre à la circonférence, avant d'être amenée à saturation. Cette spirale est maintenue à la partie supérieure par une plaque horizontale percée de trous et destinée à empêcher l'eau d'être lancée dans le tuyau à vapeur par des mouvements brusques du navire. Cette disposition de la chaudière est employée pour obtenir un repos relatif. L'alimentation se fait avec l'eau du condensateur : cette eau se rend par un tube *gg* dans la caisse *ii* placée sous le cendrier ; elle est conduite de là au centre de la chaudière par le tube *aa*, qui se recourbe à cet effet à une hauteur moindre que celle de l'eau dans la colonne *cc*. La cheminée est formée d'une double enveloppe de tôle remplie de sable pour préserver des incendies. *r*, robinet d'écoulement de l'eau distillée ; *f*, robinet qui sert à faire écouler l'eau de la chaudière quand elle a atteint le degré de concentration qu'il est bon de ne pas dépasser.

Le problème de la transformation de l'eau de mer en eau douce a été longtemps sans recevoir une solution satisfaisante ; cela tenait à deux causes principales : la première était le défaut d'aération de l'eau distillée obtenue, la seconde était l'odeur et le goût particuliers d'empyreume que présente l'eau après sa distillation.

Pour produire l'aération de l'eau, différents systèmes ont été proposés ; M. Mazeline, du Havre, produit la dissolution du gaz dans l'eau à l'aide d'une pompe à air. Les vapeurs formées par la chaudière distillatoire se rendent à la partie supérieure d'un serpentin entouré d'eau de mer constamment renouvelée au moyen d'une pompe à eau ; à l'autre extrémité, le serpentin est en communication avec une pompe à air qui aspire l'eau condensée en même temps que l'air qui pénètre dans le serpentin par une ouverture voisine du point d'introduction de la vapeur. Par ce moyen, la vapeur se condense toujours au contact de l'air en excès et l'eau de condensation se trouve complétement saturée d'air ; l'eau distillée formée par la pompe à eau est ensuite filtrée sur du sable et du charbon.

M. Perroy, ingénieur des constructions navales, a simplifié considérablement le système précédent en supprimant la pompe à air ; la vapeur qui arrive dans le serpentin détermine elle-même l'appel de l'air. Ce jet de vapeur arrive par un ajutage conique au centre d'un autre cône, et l'espace annulaire est en communication avec l'atmosphère. L'air entraîné sature l'eau de condensation de la vapeur dans le serpentin.

Le docteur Normandy avait proposé un appareil dans lequel il s'était proposé de saturer l'eau distillée au moyen de l'air même que l'eau de mer tient en dissolution. Son appareil se compose de trois parties : l'évaporateur, le condenseur, le filtre. L'évaporateur est un cylindre contenant un faisceau tubulaire dans lequel circule de la vapeur ; ce faisceau est entouré de l'eau qu'il s'agit de distiller et qui se trouve portée à l'ébullition par la vapeur qui circule dans le faisceau. La vapeur provenant de l'ébullition se rend dans le condenseur formé d'un cylindre contenant aussi un faisceau tubulaire. La vapeur est introduite dans le faisceau tubulaire et l'eau de mer circulant à l'intérieur peut produire la condensation ; les gaz de cette eau se dégagent par suite de son échauffement et un tube qui part de la partie supérieure du condenseur et se rend à la partie supérieure de l'évaporateur, les amène dans celui-ci en contact avec la vapeur qui les entraîne avec elle. Comme l'eau de mer qui sert à la condensation a sensiblement six fois le volume de celle de l'eau distillée, il en résulte que l'air que l'on fournit ainsi est en grand excès et que l'eau obtenue est complétement saturée. Dans cet appareil M. Normandy a paru préoccupé de l'idée de saturer l'eau obtenue au moyen de l'air même qui se trouve dans l'eau de mer, afin sans doute d'obtenir la même composition de l'air dissous. Cette considération nous semble absolument sans importance.

M. Normandy a fait des recherches relatives à la cause qui fournit à l'eau distillée le goût et l'odeur empyreumatique qu'elle possède ; il a évaporé 175 litres d'eau, à une température inférieure à celle de l'ébullition, dans une petite capsule en platine ; au bout de six semaines qu'avait duré l'évaporation, la capsule était recouverte d'une pellicule huileuse d'odeur repoussante ; cette huile est formée d'hydrogènes carbonés qui prennent naissance par la décomposition des matières d'origine organique que contient l'eau sous l'action de la chaleur. Ces substances organiques se détruisent au bout d'un certain temps dans l'eau aérée parce que l'oxygène que l'eau contient les brûle à la longue. M. Normandy proposait, pour les détruire immé-

diatement, de filtrer l'eau sur du noir animal. Cette opération s'accomplissait dans la troisième partie de son appareil; d'après l'inventeur, un hectolitre de charbon suffit pour la purification de deux mètres cubes d'eau par jour. Le charbon n'a pas besoin d'être renouvelé, ce charbon n'ayant d'autre effet que de mettre l'eau avec l'oxygène en contact intime et sur des surfaces multipliées, de façon à obtenir une combustion rapide des huiles enpyreumatiques.

Dans la Marine de l'État, l'eau distillée est employée maintenant d'une manière exclusive; on embarque seulement un petit approvisionnement en eau douce pour quinze jours environ, mais c'est l'eau distillée qu'on consomme habituellement.

Pour les navires à vapeur, quand les machines sont à condensation par injection directe, on se sert pour la distillation de la vapeur des chaudières elles-mêmes, en affectant plus particulièrement à cet usage un des corps de chaudière, qu'on tient un peu plus propre que les autres. Les condensateurs sont du modèle Perroy.

Pour les bâtiments à vapeur munis de condenseurs à surface, on est obligé d'avoir une chaudière spéciale alimentée à l'eau de mer pour fournir la vapeur que donnera l'eau distillée. C'est qu'en effet les chaudières sont alors alimentées au moyen de l'eau de condensation; cette eau est très-chargée de matières grasses et l'eau distillée qu'on en obtient présente un goût nauséabond.

Dans le cas des navires à voile, on se sert d'appareils distillatoires qui ont nécessairement un vaporisateur spécial.

1514. *Distillation dans le vide.* — Si deux réservoirs, en communication par leur partie supérieure, avaient été privés d'air, si l'un d'eux renfermait un liquide vaporisable, et si tous deux étaient maintenus à une température constante, le liquide renfermé dans le premier réservoir produirait constamment des vapeurs qui viendraient se condenser dans le second. Pour opérer sur une petite échelle, on pourrait employer un siphon de verre de $0^m,80$ à $0^m,90$ de hauteur qu'on remplirait de mercure, et qu'on renverserait ensuite dans une cuve à mercure après en avoir fermé les extrémités. Le mercure se maintiendrait dans chaque branche à une hauteur égale à celle du baromètre, et l'espace situé au-dessus de ces colonnes serait complétement vide. Alors, on pourrait faire passer le liquide au-dessus d'une des colonnes, en l'introduisant au-dessous; et en plaçant un mélange frigorifique autour de l'autre tube, la distillation s'effectuerait. On pourrait encore employer l'appareil figure 317, composé de deux ballons A et B, réunis par un tube horizontal, et munis de

quatre robinets *a*, *b*, *c*, *d*. Au moyen du premier, on établirait la communication de l'appareil avec une machine pneumatique, et on ferait le vide; par le second, on introduirait le liquide dans le ballon A; en environnant alors le ballon B d'un corps froid, la distillation s'effectuerait, et, en ouvrant les robinets *a* et *d*, on ferait écouler le liquide distillé.

1515. Dans ce mode de distillation, la chaleur nécessaire à l'opération doit être fournie au vase qui renferme le liquide à distiller, et il faut condenser la vapeur par l'air ou par un liquide qui se renou-

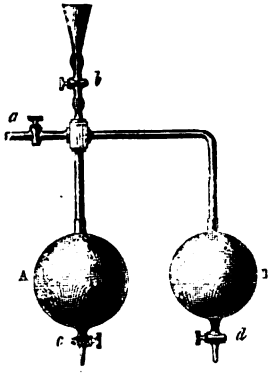


Fig. 317.

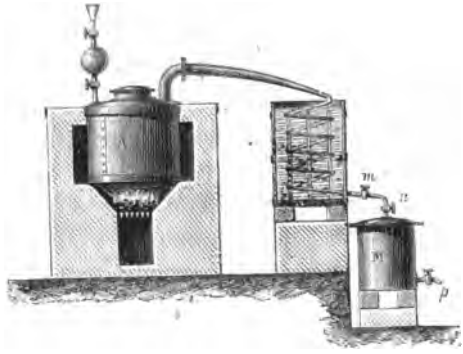


Fig. 318.

velle constamment. La dépense de combustible est la même que si la distillation avait lieu sous la pression de l'atmosphère. Ce mode d'opération peut être utile lorsque, par la nature du corps sur lequel on opère, il est important que la distillation ait lieu à une température peu élevée : c'est pourquoi nous donnerons quelques détails sur la disposition des appareils à employer.

1516. L'appareil le plus simple (*fig.* 318) est analogue à ceux qu'on emploie pour la distillation ordinaire sous la pression de l'atmosphère ; il n'en diffère que par le réservoir M adapté à l'extrémité du serpentin, et qui est destiné à recevoir les produits de la distillation. Le liquide à distiller est placé dans la chaudière A ; on vide la cuve du serpentin, on ouvre les robinets *m*, *n* et *p*, et on chauffe le liquide de manière à l'amener à la température de l'ébullition. Les vapeurs qui se forment ne se condensent qu'en très-petite quantité, et sortent presque en totalité par le robinet *p* du réservoir M. Après quelques instants, tout l'air que contenait l'appareil a été expulsé, et ce dernier n'est rempli que de vapeurs. A cette époque, on ferme

le robinet *p*, on baisse le feu, et on remplit d'eau froide la cuve du serpentin ; les vapeurs se condensent et le vide s'effectue dans l'appareil. Alors on ranime le feu et on le maintient aù degré convenable ; l'ébullition se manifeste à une température peu élevée, la condensation s'opère comme dans la distillation ordinaire, et les produits de la distillation se réunissent dans le récipient M. Si la distillation devait être continue, il faudrait de temps en temps enlever le liquide du réservoir M à l'aide d'une pompe, et alimenter la chaudière au moyen d'un tube d'aspiration garni d'un robinet. Ce mode d'opération a le grand inconvénient d'exiger que le liquide soit d'abord porté à la température de son ébullition dans l'air. Mais on pourrait éviter cet inconvénient en chassant l'air de l'appareil au moyen de la vapeur fournie par une chaudière à vapeur d'eau, qui serait placée à côté, et en n'introduisant le liquide à distiller dans l'alambic qu'après que l'air contenu dans l'appareil aurait été expulsé par la vepeur.

On emploie maintenant, dans la plupart des raffineries de sucre, des appareils dans lesquels l'évaporation des sirops a lieu dans le vide ; ce sont, en réalité, des appareils de distillation dans le vide, mais comme ils ont pour objet la concentration, nous n'en parlerons que dans le chapitre consacré à l'évaporation.

1517. *Distillation sous des pressions plus grandes que celle de l'atmosphère.* — Dans certaines circonstances, il pourrait être avantageux de distiller sous des pressions plus grandes que celle de l'atmosphère ; on y parviendrait facilement en plaçant, dans le tuyau qui conduit les vapeurs au condensateur, une soupape qui ne s'ouvrirait que sous la pression qu'on veut atteindre.

1518. *Distillation au bain-marie, par la vapeur, etc.* — Dans un grand nombre de distillations, il est important de ne pas faire agir directement le feu sur la chaudière, surtout quand le liquide renferme des substances seulement en suspension, qui, en se précipitant sur le fond de la chaudière, pourraient se brûler et altérer les produits de la distillation. Dans ce cas, on place la chaudière dans une autre, pleine d'eau ; on chauffe cette eau soit directement, soit par de la vapeur à une pression plus ou moins élevée et qu'on fait circuler dans un double fond ou dans un serpentin. On pourrait aussi employer des bains d'huile, des dissolutions salines. Comme ces différents modes de chauffage sont disposés comme pour l'évaporation, nous en remettrons la description au livre suivant.

1519. *Distillations rapides.* — Il y a un certain nombre d'années,

on a beaucoup parlé, dans les journaux scientifiques, de la rapidité avec laquelle on distillait les liqueurs vineuses, en Écosse. Un alambic contenant 80 gallons (305 litres) était rempli de liqueur froide; cette liqueur était chauffée et distillée, et l'alambic rempli de nouveau, dans trois minutes et demie. Tout le secret consistait à employer de grandes surfaces de chauffe exposées au rayonnement du foyer, de manière à obtenir le maximum de transmission de chaleur. Cette disposition était le résultat de la nature de l'impôt qui se payait par jour et par appareil; il était alors dans l'intérêt du fabricant de faire des sacrifices de divers genres pour économiser le temps.

CHAPITRE II

Appareils de distillation à effets multiples.

1520. Dans la distillation simple, la chaleur absorbée par la chaudière se dégage en totalité dans la vapeur, et une grande partie de cette dernière passe dans le liquide réfrigérant. Ainsi, dans la distillation de l'eau, en supposant que l'eau condensée soit à 50°, la vapeur renfermant 650 unités de chaleur, le liquide réfrigérant absorbe les $\frac{12}{13}$ de la chaleur entraînée par la vapeur. On peut employer une partie de cette chaleur pour chauffer le liquide destiné aux opérations suivantes; mais, à moins qu'une partie seulement du liquide ne doive être vaporisée, il y a toujours beaucoup de chaleur perdue.

1521. On peut employer un grand nombre de fois la chaleur qu'exige une première distillation, pour en produire d'autres. En effet, lorsque la vapeur se condense, elle émet exactement toute la chaleur qu'elle a absorbée lors de sa formation; et par conséquent, s'il n'y avait pas de chaleur perdue par le refroidissement de l'appareil, et si le liquide distillé était à la température extérieure, on pourrait employer un nombre infini de fois la même chaleur à produire la distillation de masses égales de liquide. Mais comme le liquide devrait entrer en ébullition, il faudrait nécessairement que toutes les distillations se fissent à des pressions décroissantes, afin qu'il y eût entre le lieu où la vapeur se condense et le lieu où la chaleur latente de cette vapeur produit une nouvelle vaporisation, une différence de température nécessaire à la transmission de la chaleur. Nous com-

mencerons d'abord par exposer le cas le plus simple, celui où les distillations successives ont lieu dans le vide.

1522. La figure 319 représente la disposition d'un appareil à effets multiples. C est une chaudière ordinaire dont la partie supérieure communique avec le serpentin H, qui aboutit au vase B. Le cylindre A, qui environne le serpentin H, communique de même avec un serpentin, et ce dernier avec le vase B′, et ainsi de suite. L'appareil est ainsi composé d'une série de chaudières et de serpentins terminés par des vases fermés, et chaque chaudière est chauffée par la chaleur qui résulte de la condensation des vapeurs de l'appareil précédent. Un tube EE′, qui communique avec un générateur, conduit la vapeur de la chaudière C dans les vases A, A′, A″, A‴ par des tubes garnis des robinets *a*, *a*′, *a*″, *a*‴. Le tube DD′, qui communique avec le réservoir du liquide à distiller, le conduit dans les capacités

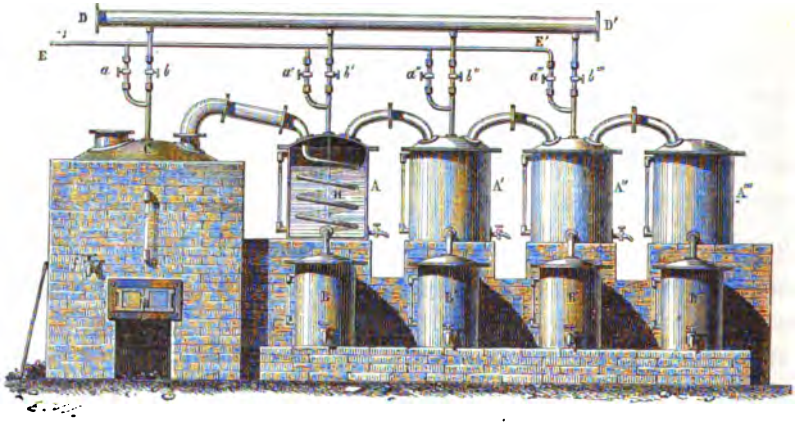


Fig. 319.

C, A, A′, A″ par des tubes garnis des robinets *b*, *b*′, *b*″, *b*‴. Supposons que, toutes les capacités étant pleines d'air, on ouvre les robinets *a*, *a*′, *a*″, *a*‴, et ceux qui sont placés à la partie inférieure des vases B, B′, B″, B‴; il est évident que l'air sera expulsé par la vapeur. Si, après quelques intants, on ferme ces robinets et si on ouvre les robinets *b*, *b*′, *b*″, *b*‴, les vases C, A, A′, A″, se rempliront du liquide à distiller; lorsqu'ils seront remplis à la hauteur convenable, on fermera les robinets et on chauffera la chaudière C; les vapeurs produites se réuniront en B, le liquide de A ne tardera pas à entrer lui-même en ébullition; et, dans un temps assez court, l'ébullition existera dans

tous les vases, excepté dans le dernier, qui est ouvert et qui ne doit renfermer que de l'eau. Il est évident que, pour qu'il en soit ainsi, les pressions doivent aller en diminuant du vase C au vase A″, puisque les températures sont décroissantes dans le même sens. Les chaudières peuvent être alimentées pendant l'opération; mais, pour vider les chaudières, C, A, A′, A″, ainsi que les vases B, B′, B″, B‴, il faut faire rentrer l'air dans chacun des appareils distillatoires, ou faire communiquer les vases qu'on veut vider avec d'autres dans lesquels on aurait fait le vide par la vapeur.

Dans ce qui précède, nous avons supposé qu'on faisait le vide par la vapeur; on pourrait le produire par une machine. Il semble qu'on pourrait également l'obtenir en remplissant tous les vases d'eau, fermant leur partie supérieure, et les faisant communiquer par un tube d'au moins 11 m. de hauteur avec des cuves dans lesquelles l'eau s'écoulerait jusqu'à ce que la colonne d'eau fût à peu près de $10^m,33$; mais ce moyen est pratiquement imparfait, à cause du dégagement de l'air en dissolution dans l'eau.

1523. Si on n'enlevait pas l'air des vases, les distillations successives auraient également lieu; seulement les pressions dans les vases, au lieu de rester inférieures à la pression atmosphérique, seraient supérieures. Dans tous les cas, en faisant abstraction de la chaleur perdue par les surfaces des vases, la même quantité de chaleur devant passer à travers chaque appareil, si les surfaces des serpentins sont les mêmes, la même différence de température devra exister entre la vapeur qui s'écoule par un serpentin et le liquide environnant. En supposant une différence de température de 20°, entre deux vases consécutifs, et le dernier vase plein d'eau à 20°, la température de la vapeur, dans le cas où l'on a fait préalablement le vide, serait successivement de 40°, 60°, 80° et 100°; en supposant que le liquide soit de l'eau, les tensions seraient de $0^m,053$, $0^m,144$, $0^m,352$, $0^m,76$. Si l'on supposait que le vide n'ait pas été fait dans les vases, pendant toute la durée de l'opération, l'ébullition dans le dernier vase aurait lieu à 100°, puisque le dernier serpentin s'ouvre dans l'air, et pour que le même excès de température se trouvât dans tous les précédents, les températures de l'ébullition seraient successivement de 120°, 140°, 160°, qui correspondent à des pressions de 2^{at}; $3^{at},5$; 6^{at}. La pression dans la chaudière serait considérable; mais on pourrait la diminuer beaucoup en augmentant les surfaces des serpentins; en supposant seulement une différence de température de 10°, les températures seraient, toujours pour l'eau, de 100°, 110°, 120°, 130°,

qui correspondent à peu près à des pressions de 1^{at} ; $1^{at},5$; 2^{at} ; $2^{at},5$.

1524. Les principes de la distillation faite en employant, à plusieurs reprises, la chaleur latente de la vapeur, ont été établis pour la première fois, à ma connaissance du moins, par M. Pecqueur, dans un brevet d'invention pris pour dix années, en 1829 ; l'inventeur considère ses appareils comme également applicables à la concentration des jus de betterave, et en général des sirops dans les raffineries. Dans ces appareils, les serpentins où la vapeur se condense sont remplacés par des faisceaux de tubes ayant la forme de demi-cercles concentriques, aboutissant par une extrémité au tuyau d'arrivée des vapeurs, et par l'autre au tuyau d'écoulement des eaux de condensation. Cette disposition avait pour but d'éviter les tractions qui se produisent dans les tubes droits parcourus par la vapeur, quand les extrémités sont fixées. M. Pecqueur parle des distillations et des concentrations successives dans un vide partiel, ou par des excès de pressions dépassant la pression atmosphérique. En 1834, M. Pecqueur prit un nouveau brevet pour un appareil à distillations et à évaporations successives, dont je parlerai dans le livre suivant. Enfin, en 1849, le même ingénieur a pris un brevet pour une autre disposition des appareils de concentration, dont je parlerai également à propos de l'évaporation. Dans ce brevet, M. Pecqueur dit qu'il a fait l'application du principe en question à la construction d'un appareil à distiller l'eau de mer, qui a été installé, en 1842, à bord de la frégate *la Cléopâtre*, et que cet appareil, seulement à double effet, produisait $13^{k},5$ d'eau distillée par kilogramme de houille.

CHAPITRE III

Appareils de distillation et d'analyse des vapeurs.

1525. Jusqu'ici ces appareils ont été uniquement employés à la distillation des vins et des autres liqueurs alcooliques. Pendant longtemps, pour obtenir de l'alcool concentré, ou seulement des eaux-de-vie à un titre élevé, on était obligé de faire une série de distillations qui étaient à la fois longues et coûteuses. Les appareils d'analyse des vapeurs ont pour objet de donner, par une seule chauffe, de l'eau-de-vie ou de l'alcool à un degré quelconque. Le premier appareil a été imaginé en 1801 par Adam, de Montpellier ; depuis on en a inventé un grand nombre produisant le même effet par des dispositions dif-

férentes. Je me bornerai à indiquer les principes sur lesquels reposent ces appareils, et je décrirai ceux qui sont le plus employés.

1526. Le problème à résoudre est celui-ci : un mélange d'eau et d'alcool contenu dans une chaudière étant mis en ébullition, et produisant un courant continu de vapeur d'eau et de vapeur alcoolique, séparer l'eau de l'alcool de manière à obtenir ce dernier à un degré déterminé.

1627. Tous les appareils construits jusqu'ici sont composés : 1° d'une chaudière dans laquelle on met en ébullition le liquide à distiller ; 2° de deux serpentins, dont l'un est destiné à échauffer, par une condensation partielle des vapeurs produites, le liquide qui doit être distillé, et l'autre à compléter cette condensation ; 3° d'un appareil pour analyser les vapeurs. C'est dans ce dernier que consiste la différence des systèmes. Dans tous cependant, l'appareil d'analyse est disposé de manière à livrer au dernier serpentin les vapeurs suffisamment déphlegmées, et à faire retourner à la chaudière les vapeurs condensées trop aqueuses.

1528. Tous les appareils d'analyse de vapeurs sont fondés sur un ou plusieurs des principes que nous allons exposer :

1° Un mélange d'eau et d'alcool bout à une température d'autant moins élevée que le mélange renferme moins d'eau et plus d'alcool. Quand le mélange renferme des quantités d'alcool égales à

1,00	0,92	0,65	0,30	0,15	0,05	0,

le mélange entre en ébullition, sous la pression atmosphérique, à

75°8	76°7	80°	85°	90°	95°	100°

et les vapeurs contiennent des proportions d'alcool représentées par les nombres

1,00	0,93	0,87	0,78	0,66	0,42	0.

2° Lorsqu'un mélange de vapeurs d'eau et de vapeurs d'alcool parcourt un réfrigérant à air ou à eau, les premières vapeurs qui se condensent sont les plus aqueuses, et les dernières les plus alcooliques ; de sorte que, si le réfrigérant a une étendue suffisante, les vapeurs échappées à cette condensation pourront renfermer une proportion donnée d'alcool.

Pour bien voir ce qui se passe dans le refroidissement de ces vapeurs, considérons ce qui arrive quand les vapeurs ne renferment

que de l'eau ou de l'alcool. Lorsqu'une vapeur, saturée d'eau ou d'alcool, s'écoule par un tuyau communiquant par son extrémité avec l'atmosphère, et dont la surface est exposée à l'air ou en contact avec un liquide à une plus basse température, la vapeur se condense progressivement, mais sans se refroidir, parce qu'elle est soumise à la pression de l'atmosphère. Si la vapeur est formée d'un mélange de vapeur d'eau et de vapeur d'alcool, les phénomènes sont très-différents ; la chaleur perdue doit être fournie par une condensation des deux vapeurs ; mais, par la même raison que, dans la vapeur produite par un mélange d'eau et d'alcool, l'alcool est toujours dans une proportion plus grande que dans le liquide, il se condense une proportion plus grande de vapeur d'eau. Ainsi la proportion d'alcool dans la vapeur doit augmenter constamment avec le chemin parcouru, et la température du mélange doit diminuer progressivement jusqu'à 75°,8, température de l'ébullition de l'alcool pur. On voit d'après cela que, si on faisait sortir les vapeurs qui se dégagent d'une liqueur vineuse par un serpentin vertical environné d'eau, maintenu à une température constante, en faisant varier la température de l'eau, ou la longueur du serpentin, ou bien l'activité du foyer, on pourrait recueillir à l'extrémité du serpention des vapeurs qui, étant ensuite condensées, donneraient de l'alcool à un degré déterminé de concentration.

3° Lorsque de la vapeur d'eau un peu chargée d'alcool rencontre un liquide alcoolique à une plus basse température, une partie de la vapeur d'eau se condense, et une partie de la chaleur provenant de la condensation forme des vapeurs alcooliques. C'est évidemment une conséquence du premier principe. Il résulte de là que, si un courant de vapeur d'eau s'élevait dans une colonne verticale, et si une liqueur alcoolique marchait en sens contraire, de manière à présenter à la vapeur des surfaces très-étendues, la liqueur vineuse irait constamment en s'échauffant et en s'appauvrissant, tandis que les vapeurs seraient de plus en plus chargées de vapeurs d'alcool. Ainsi, si le contact était assez prolongé, les vapeurs qui s'échapperaient de l'appareil pourraient toujours avoir un degré déterminé, qui s'apprécierait très-approximativement par un thermomètre. Les appareils fondés sur ce principe sont bien préférables à ceux qui reposent sur le second, du moins sous le rapport de l'économie du combustible, parce que la chaleur provenant de la condensation des vapeurs est employée à chauffer le liquide et à en vaporiser l'alcool, et que, le liquide à chauffer étant toujours au moins égal à cinq fois

celui qu'il faut évaporer pour extraire la totalité de l'alcool, toute la chaleur provenant de la condensation des vapeurs est utilisée, surtout en supposant que la vapeur provienne du liquide appauvri, ce qui a toujours lieu.

1529. L'appareil d'Adam, qui a paru en 1801 et qui a fait époque dans l'histoire de la distillation, était fondé sur le premier principe. Il était composé d'une chaudière et de plusieurs vases fermés, d'une forme ovoïde, et de deux serpentins parcourus successivement par les vapeurs sorties du dernier vase ; les communications de ces différents vases étaient établies comme celles d'un appareil de Wolf. La partie supérieure de la chaudière communiquait avec le premier vase par un tuyau qui descendait jusqu'au fond de celui-ci. La partie supérieure du premier vase communiquait avec le second par un tube qui plongeait également jusqu'au fond de ce dernier, et ainsi de suite. Enfin, le dernier communiquait avec le premier serpentin. La chaudière, les vases et le premier serpentin étaient d'abord remplis de la liqueur à distiller, et le dernier serpentin, d'eau ; on chauffait la chaudière ; les vapeurs alcooliques qu'elle produisait se condensaient dans le premier vase ; ce liquide, plus alcoolique que celui de la chaudière, entrait bientôt lui-même en ébullition, et produisait des vapeurs plus déphlegmées qne celles de la chaudière, et qui allaient se condenser dans le second vase, et ainsi de suite. On voit, d'après cela, que les liquides renfermés dans les vases étaient d'autant plus riches en alcool et donnaient des vapeurs d'autant moins aqueuses, qu'ils étaient plus éloignés de la chaudière. L'appareil était disposé de manière à ce que l'on pût mettre en communication avec le serpentin le premier, le deuxième ou le troisième vase ; on obtenait ainsi à volonté de l'alcool à un degré quelconque. L'appareil d'Adam est complétement abandonné depuis longtemps, parce qu'il a le grand inconvénient de produire dans la chaudière une assez grande pression, et qu'il ne permet pas d'obtenir un travail continu.

1530. A la même époque, Solimani imagina un autre appareil d'analyse des vapeurs, qui était fondé sur le second principe. Cet appareil consistait en un condensateur à plaques parallèles, qui était plongé dans de l'eau à une température constante de 40°. Les vapeurs de la chaudière y arrivaient par le bas ; celles qui se condensaient retournaient à la chaudière, et celles qui échappaient passaient dans le réfrigérant, où elles étaient entièrement condensées. En faisant varier la température du condensateur, on obtenait à

volonté de l'alcool à un degré quelconque. Solimani avait imaginé un appareil très-simple pour maintenir l'eau à une température constante.

1531. L'appareil d'Isaac Bérard, qui parut peu de temps après, était fondé sur le même principe que celui de Solimani ; mais la disposition était différente. L'appareil d'analyse des vapeurs consistait en un cylindre deux fois recourbé horizontalement et divisé en treize cases par des diaphragmes verticaux percés supérieurement et inférieurement. Le cylindre était plongé dans l'eau, et on pouvait à volonté faire parcourir aux vapeurs sortant de la chaudière un certain nombre des cases du serpentin ; il est évident que les vapeurs étaient d'autant plus déflegmées qu'elles en avaient parcouru un plus grand nombre.

1532. Mais, dans tous ces appareils, le travail était intermittent. Cellier-Blumenthal imagina de combiner les différentes dispositions employées de manière à produire la continuité du travail, c'est-à-dire à faire arriver d'une manière continue la liqueur vineuse par un bout de l'appareil, et à faire écouler continuellement la vinasse par un autre bout, en recueillant de l'alcool à un degré déterminé de concentration. L'appareil de Cellier-Blumenthal a été un immense progrès dans l'industrie de la distillation, sous le rapport de l'économie du temps et du combustible. La dépense de combustible qui, dans les appareils discontinus s'élève souvent à trois fois le poids de l'alcool *trois-six*, ou à 36° Beaumé, atteint à peine, dans ceux qui sont continus, le quart du poids de cet alcool. Je vais décrire l'appareil de Cellier-Blumenthal tel que le construisit M. Derosnes.

1533. *Appareil distillatoire de Cellier-Blumenthal, construit par M. Derosnes.* — Cet appareil est essentiellement composé (*fig.* 320) de deux chaudières A et A′, d'une colonne distillatoire B, d'un rectificateur C, d'un condensateur chauffe-vin D, d'un réfrigérant F, d'un seau de vidange à robinet régulateur E, et d'un réservoir à vin G.

La chaudière A′ est munie d'une douille destinée à la remplir, d'un robinet R destiné à la vider et d'un tube de niveau. Le tuyau Z conduit la vapeur au fond de la chaudière A.

La chaudière A est chauffée par le conduit à fumée du foyer de la chaudière A′ ; elle est munie, comme la première, d'un tube de niveau ; le robinet R′ sert à faire passer le liquide de la seconde chaudière dans la première.

La colonne distillatoire B renferme une série de diaphragmes, formés de plaques courbes disposées alternativement en sens contraires

et de diamètres différents ; les plus grands ont leur concavité tournée vers le haut et sont percés d'un grand nombre de petits orifices. Il

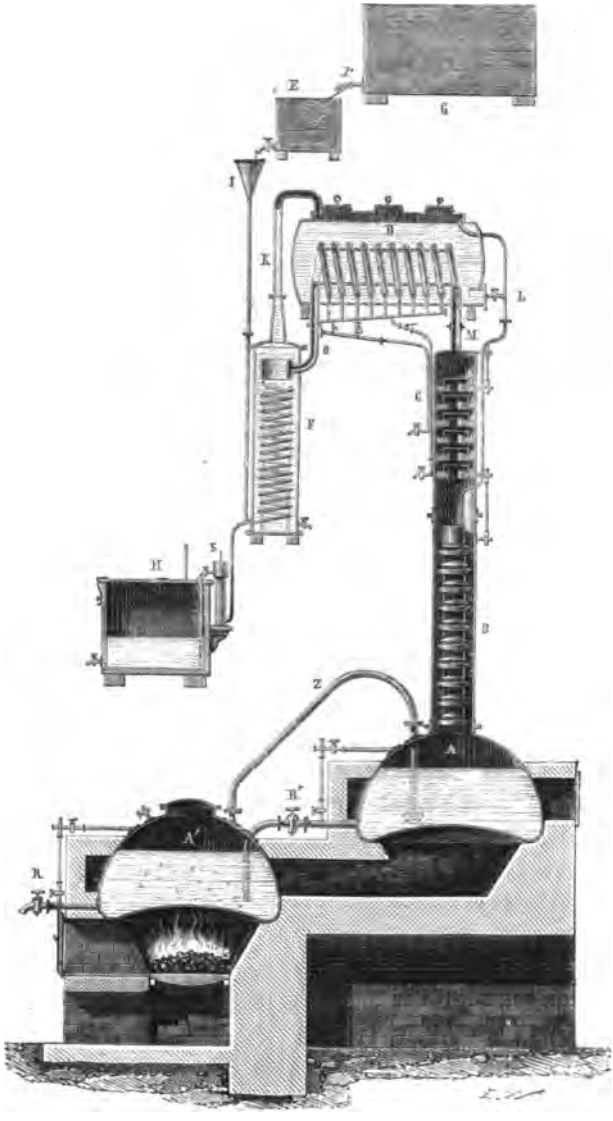


Fig. 320.

résulte de cette disposition que les vapeurs qui s'élèvent rencontrent de grandes surfaces mouillées par le liquide qui descend et des filets

de liquide qu'elles sont obligées de traverser. Dans la colonne d'analyse C, il y a également des diaphragmes ; mais ils sont percés de grandes ouvertures garnies de rebords en dessus et recouverts d'un chapeau, de sorte que les vapeurs sont forcées, pour passer à travers chacun d'eux, de vaincre une pression du liquide d'environ 2 centimètres. Des douilles, qui ne sont point indiquées dans la figure, permettent l'écoulement du liquide ; elles s'élèvent, au-dessus de chaque diaphragme, au niveau que le liquide doit conserver, et elles descendent, près du diaphragme inférieur, au-dessous du niveau du liquide.

Le condensateur D est un cylindre de cuivre placé horizontalement ; il renferme un serpentin à hélices verticales, dont l'origine communique par le tuyau M, avec la colonne distillatoire, et qui aboutit au tuyau O. Chaque spire reçoit à sa partie inférieure un petit tube qui sort du condensateur, et communique avec un tuyau en pente, lequel, au moyen d'un autre tuyau et de robinets convenablement disposés, peut conduire le liquide, condensé dans une partie ou dans la totalité des spires, soit dans le tuyau O, soit dans le rectificateur. L est un tuyau qui conduit le vin chaud du condensateur à la colonne distillatoire.

Le réfrigérant F est un cylindre de cuivre fermé de toutes parts ; il contient un serpentin dont l'origine communique avec le tuyau O, et dont l'extrémité inférieure permet l'écoulement, au dehors, du produit de la distillation. Il est surmonté d'un tuyau K, qui alimente de vin le condensateur. La partie inférieure du réfrigérant est alimentée elle-même par le tuyau I qui amène le vin froid.

Le seau de vidange E est muni d'un robinet qui sert à régler l'écoulement du vin dans l'appareil et à maintenir le liquide à un niveau constant : ce vase est alimenté par le réservoir G, au moyen du robinet à flotteur *r*.

Pour mettre l'appareil en fonction, on commence par remplir les chaudières A et A′ du liquide à distiller. On ouvre alors le robinet du vase E : le tube I, le réfrigérant F et le condensateur D se remplissent de vin ; l'air s'échappe par des robinets placés à la partie supérieure, et aussitôt que l'on reconnaît, par l'élévation du niveau du liquide dans la chaudière A, que le vin déverse par le tuyau L, on ferme le robinet du seau de vidange. On allume le foyer placé sous la chaudière A′. Aussitôt que le vin renfermé dans cette chaudière entre en ébullition, la vapeur s'échappe par le tuyau Z, vient se condenser dans la chaudière A, élève la température du liquide qui s'y

trouve, et, comme cette chaudière est en outre chauffée par la fumée du foyer, le liquide ne tarde pas à y entrer en ébullition ; les vapeurs alcooliques s'élèvent dans la colonne B, pénètrent dans les spires du serpentin D, s'y condensent en grande partie, et les produits retournent dans le rectificateur. Lorsque le chauffe-vin D est assez échauffé pour que l'on ne puisse plus y tenir la main, on ouvre le robinet du vase E, et la distillation continue. Le vin arrivé par le tuyau I monte dans le réfrigérant F, où il commence déjà à s'échauffer, et il arrive dans le chauffe-vin D, où sa température s'élève presque jusqu'à l'ébullition ; de là il tombe par le tube L dans la colonne B, qu'il parcourt dans toute sa hauteur, et arrive dans la chaudière A. Quand le liquide de la chaudière A′ ne contient plus d'alcool, on fait écouler la vinasse par le robinet R, et on ouvre le robinet R′ pour remplir de nouveau la chaudière A′ avec une partie du liquide de la chaudière A. Quant à la vapeur, elle suit la même route, mais son mouvement est dirigé en sens inverse. Quand elle a été condensée dans le réfrigérant F, elle s'écoule dans le vase N, qui contient un aréomètre, et de là dans le réservoir H.

On conçoit facilement que l'alcool que l'on obtiendra sera d'autant plus rectifié, que l'on fera communiquer avec le rectificateur un plus grand nombre de spires du serpentin du chauffe-vin D. On détermine par expérience, suivant la richesse du liquide et le degré de l'alcool qu'on veut obtenir, quels sont les robinets qu'on doit laisser ouverts.

L'appareil de M. Cellier-Blumenthal peut s'appliquer très-facilement à la distillation sans continuité ; il suffit pour cela de remplir le réservoir, le réfrigérant et le condensateur avec de l'eau, et de luter l'extrémité inférieure du tube L, qui doit servir alors à évacuer l'eau chaude.

1534. *Appareil de M. Laugier.* — L'appareil que nous venons de décrire ne laisse rien à désirer sous le rapport de l'économie du combustible, de la rapidité des opérations et de la qualité des produits. Mais il est compliqué, parce qu'il est disposé de manière à permettre d'opérer sur des liquides d'une richesse alcoolique quelconque, et d'obtenir de l'alcool à un degré quelconque de concentration. Des appareils, qui seraient destinés à distiller toujours des liquides de même nature et à produire des liqueurs alcooliques au même titre, pourraient être beaucoup plus simples. C'est le cas de l'appareil de M. Laugier, représenté figure 321.

Dans cet appareil, qui est destiné à la fabrication des eaux-de-vie

de fécule, l'opération marche d'une manière continue. Le liquide à distiller est versé par le tube *s* et l'entonnoir *p* dans le vase A, où il arrive à la partie inférieure, pour servir à la condensation des vapeurs alcooliques, et produire un écoulement continu d'alcool par l'extrémité du serpentin renfermé dans le vase A. De ce vase, le liquide échauffé se rend, par le tube de communication *r*, à la partie inférieure du grand vase B, où s'opère la rectification, au moyen du

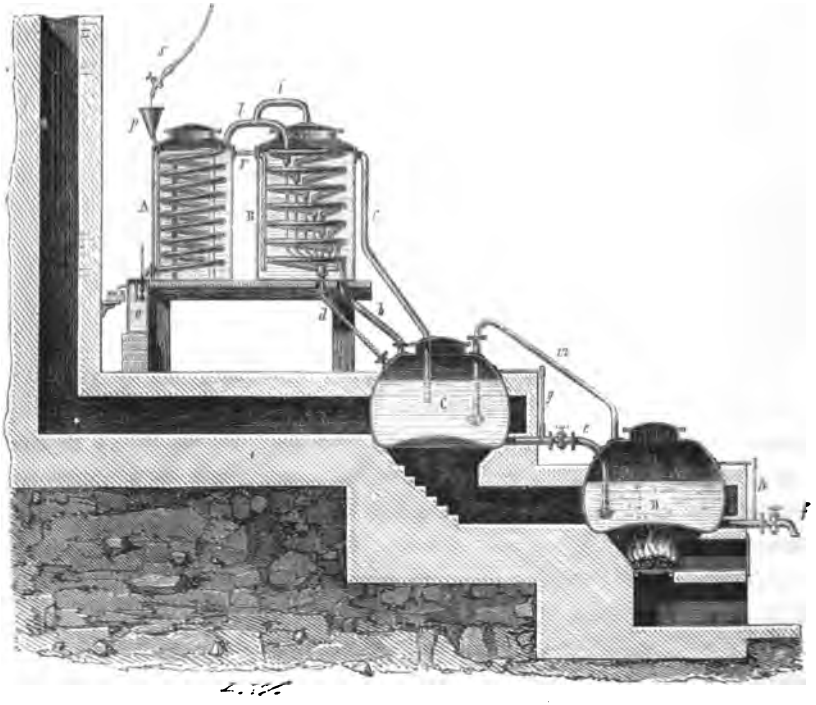


Fig. 321.

serpentin condensateur imaginé par M. Laugier. Le liquide se rend ensuite par le tube *c* dans la seconde chaudière de distillation C, chauffée par la chaleur perdue du foyer placé sous la première chaudière D, où se termine l'épuisement de la vinasse. *e* est le tuyau qui sert à faire passer le liquide de la seconde chaudière dans la première ; *m*, le tuyau qui amène, dans la seconde chaudière C, les vapeurs formées dans la première D ; *b*, le tube qui conduit les vapeurs alcooliques dans le rectificateur. Le tube *c*, dont nous avons parlé, est disposé de manière à prendre le liquide à la partie supérieure du vase B, où il est plus échauffé. *d*, tube ramenant les vapeurs conden-

sées du rectificateur dans la chaudière C ; *f*, tuyau de vidange de la vinasse épuisée ; *g* et *h*, niveaux d'eau ; *l*, tube conduisant les vapeurs non condensées du rectificateur dans le serpentin condensateur ; *i*, tube qui conduit les vapeurs formées dans le vase B au serpentin condensateur ; *o*, éprouvette dans laquelle coule l'alcool et qui contient un aréomètre pour indiquer le degré. M. Laugier a disposé son serpentin rectificateur de manière que les vapeurs alcooliques arrivent par la partie inférieure pour parcourir, en montant, toutes les hélices ; mais afin que les liquides ne s'opposent pas au mouvement des vapeurs, chaque hélice renvoie directement par un tube les produits de la condensation au tuyau *d* qui les conduit à la chaudière. Chaque hélice doit par conséquent être inclinée de manière que les vapeurs suivent le même chemin que les liquides, et la communication des hélices doit se faire par des tubes verticaux qui servent au passage des vapeurs d'une hélice dans l'autre. Le nombre des hélices doit être tel qu'on obtienne à la sortie de l'appareil, par la condensation complète des vapeurs, de l'alcool qui ait le degré voulu.

Si le nombre des hélices était plus considérable, et si les tubes verticaux communiquaient à l'extérieur avec des petits réservoirs séparés, il est évident qu'ils donneraient de l'alcool marquant des degrés de plus en plus élevés.

1535. En Allemagne, on emploie fréquemment un appareil qui, par ses dispositions principales, se rapproche beaucoup de celui de M. Laugier ; c'est celui de Pistorius ; comme celui que nous venons de décrire, cet appareil, chauffé à feu nu, comporte deux chaudières, un système rectificateur et un serpentin pour la condensation des vapeurs. La seule différence un peu appréciable entre les deux formes d'appareil se trouve dans le rectificateur qui est représenté figure 322. La vapeur provenant de la deuxième chaudière arrive en A par un tuyau recouvert d'une calotte qui la force à barboter dans le liquide de condensation qu'elle entretient à l'ébullition et dont l'excès retourne à la chaudière. B est un chauffe-vin alimenté à l'aide d'un tuyau T et qui détermine une première condensation, dans les tuyaux K, et par suite un premier enrichissement des vapeurs ; la rectification s'achève dans les deux plateaux C et D qui ressemblent par les dispositions aux éléments du réfrigérant décrit figure 313. Un tuyau *l* amène de l'eau sur le premier plateau, cette eau coule ensuite sur le second, et elle est évacuée par le tuyau *m*. La concentration plus ou moins grande de l'alcool obtenu dépend du refroidissement

plus ou moins considérable qu'on fait subir aux plateaux et par suite de la température de l'eau qui s'écoule en *m*. Il n'est pas douteux que l'utilisation de la chaleur ne soit moins complète dans cet appareil que dans celui de M. Laugier où le refroidissement de l'alcool est complétement opéré au moyen du liquide à distiller.

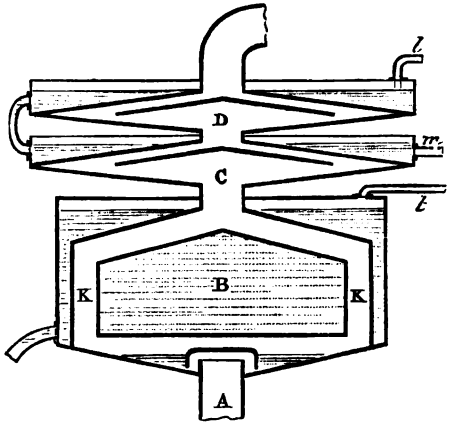


Fig. 322.

1536. Cet appareil a été modifié pour être chauffé à la vapeur ; alors les deux chaudières et le chauffe-vin sont representés par trois compartiments superposés d'un même cylindre surmonté de plateaux Pistorius ; on chauffe le compartiment inférieur au moyen d'un barboteur ou d'un serpentin.

1537. M. Siemens a construit un appareil du même genre dont le corps cylindrique vertical est en bois et cerclé ; les plateaux Pistorius sont remplacés par un déflegmateur dans lequel la vapeur circule en passant successivement dans des compartiments annulaires dans lesquels plongent les parois d'autres compartiments annulaires où circule de l'eau ; l'eau passe du compartiment extérieur vers celui du centre ; les vapeurs marchent du centre vers la circonférence. Les cloisons des espaces annulaires dans lesquels passe la vapeur sont disposés de façon à permettre le barbotage de la vapeur dans le liquide condensé et à en produire l'ébullition.

1538. *Appareil Champonnois.* — Cet appareil, representé figure 323, se compose d'une chaudière surmontée d'une colonne distillatoire ; cette colonne est formée de tronçons égaux qui s'assemblent par emboîtement ; pour cela la partie inférieure de chaque tronçon présente une gorge circulaire à l'intérieur, et c'est dans cette gorge que pénètre la partie supérieure du tronçon de dessous ; une corde circulaire entourée de caoutchouc est placée dans la gorge et fait le joint ; le serrage se fait au moyen de trois boulons verticaux qui réunissent les tronçons extérieurs. Dans chaque tronçon se trouve placé un diaphragme percé d'un trou central muni d'un bout de tuyau cylindrique que recouvre une calotte hémisphérique, un trop-plein ver-

tical placé sur le côté sert à maintenir sur le plateau une couche de liquide d'épaisseur convenable. On voit que la vapeur qui vient d'un plateau barbote dans le liquide du plateau supérieur dont elle détermine l'ébullition en même temps qu'elle se condense en partie, ce qui amène une richesse plus grande de la vapeur en alcool. A la partie supérieure de la colonne se trouve placé un *condensateur ou analyseur*

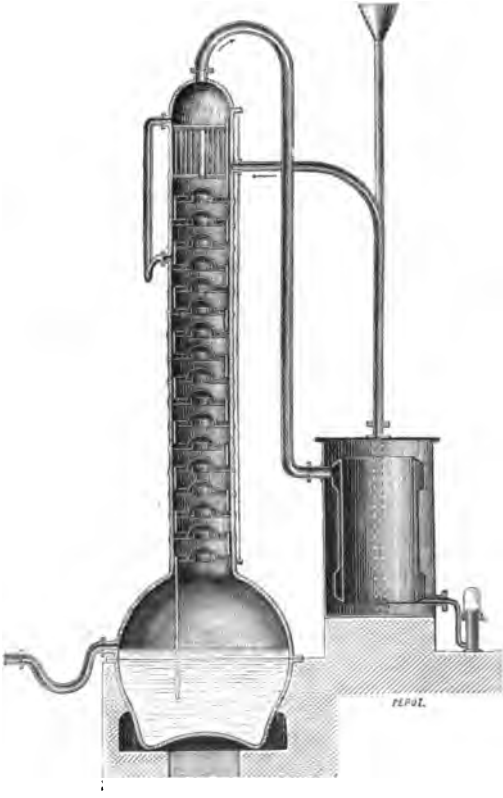


Fig. 323.

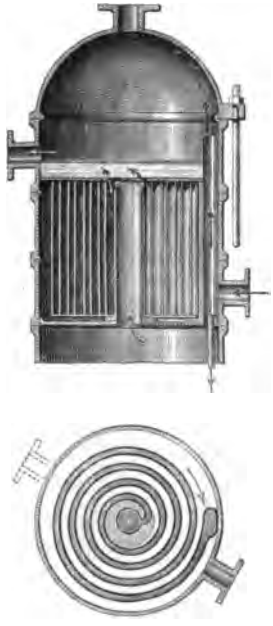


Fig. 324 et 325.

qui est représenté séparement dans les figures 324 et 325; la vapeur arrive par un tube central et parcourt l'intérieur du serpentin plat pour s'élever dans le dôme de la colonne par un tube latéral. Une tubulure placée au sommet du dôme mène les vapeurs dans le refrigérant formé d'un cylindre à double paroi; la vapeur vient se condenser dans la double paroi.

Le moût arrive dans le cylindre intérieur du refrigérant et est ensuite amené par un tube latéral à la partie inférieure du conden-

sateur, il circule autour du serpentin et sort partie par le tube central du condensateur, partie par une tubulure latérale du trop-plein qui l'amène sur le quatrième plateau. Il descend alors de plateau en plateau en se dépouillant de plus en plus d'alcool et arrive enfin dans la chaudière au moyen d'un trop-plein qui l'amène vers le fond ; le liquide complétement dépouillé d'alcool sort par un tube latéral placé sur la chaudière et peut être utilisé à chauffer le moût qui sort du réfrigérant.

L'appareil de M. Champonnois, simple d'installation et peu coûteux, convient surtout pour les distilleries agricoles.

1539. On emploie souvent des appareils beaucoup plus simples encore, dans lesquels le liquide à distiller est chauffé par un serpentin que parcourt de la vapeur à haute pression. Une de ces dispositions est indiquée dans la figure 326. A est un cylindre de fonte ou de cuivre, où l'ébullition du liquide à distiller est produite au moyen d'un serpentin en cuivre, dont les orifices d'entrée et de sortie sont désignés par les lettres *a* et *b* ; *c* est l'orifice de sortie de la vinasse épuisée ; B est la colonne d'analyse des vapeurs, dans laquelle le liquide à distiller marche en sens contraire de la vapeur. Différentes dispositions sont employées pour augmenter les surfaces de contact. Les vapeurs s'élèvent dans le réservoir E et passent par le tube F dans le rectificateur C qui est formé d'un serpentin disposé suivant la méthode ordinaire ; les vapeurs condensées retournent à la colonne d'analyse par le tuyau H et les vapeurs non condensées passent dans le serpentin du vase D où elles sont condensées et refroidies, et s'écoulent au dehors par la tubulure M, qui communique avec un vase renfermant un alcoomètre. Le liquide à distiller arrive d'un

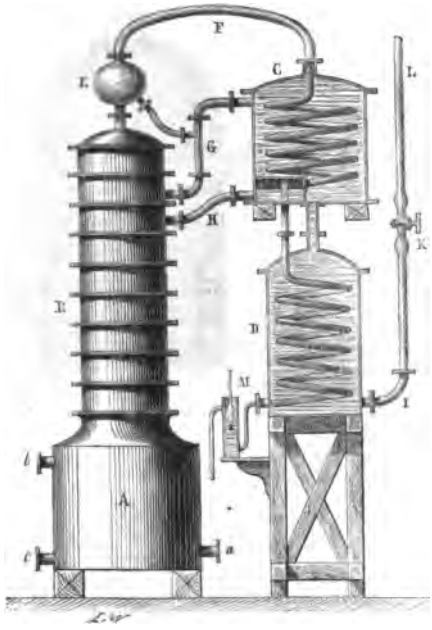


Fig. 326.

réservoir supérieur dans l'appareil, par ce tuyau LI muni du robinet K, qui sert à régler l'écoulement ; il s'élève dans le vase D, puis dans le vase C, d'où il passe dans la colonne d'analyse B, par le tuyau G, et tombe dans le vase A. C'est sur ce principe que sont fondés les appareils que nous allons décrire dans la suite.

1540. *Appareil Dubrunfaut.* — Cet appareil est très-employé dans le nord de la France, la Belgique et la Hollande.

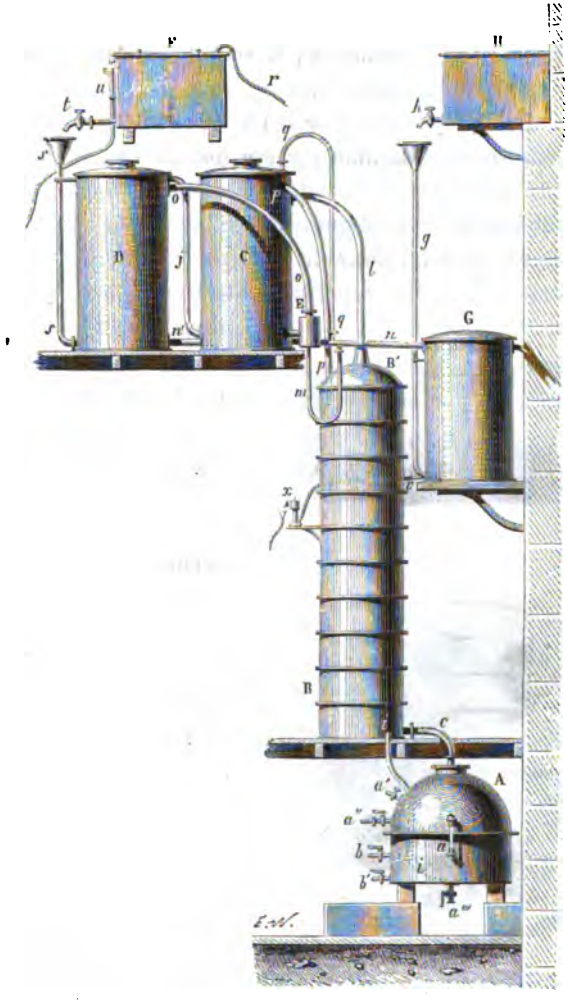


Fig. 327.

L'appareil comprend quatre parties principales et distinctes qui

sont : la chaudière, la colonne distillatoire, le chauffe-vin, le réfrigérant ; il est représenté figure 327.

La chaudière A est analogue à celle qu'on emploie dans les sucreries pour cuire dans le vide ; elle est surmontée d'un dôme et porte un tube à niveau *a* et un robinet de vidange *a'''* ; le chauffage se fait au moyen d'un double fond ou d'un serpentin dans lequel circule la vapeur qui arrive par le tuyau *b* ; un autre tuyau, placé au-dessous, sert au retour de l'eau provenant de la vapeur condensée ; sur le dôme sont appliqués deux robinets, l'un qui a pour but de laisser sortir l'air ou la vapeur de la chaudière ; le second, d'emplir la chaudière lorsqu'on commence une opération.

Dans certains appareils il y a deux chaudières superposées ; la vapeur de la première chaudière passe par un tuyau pour se rendre vers le fond de la seconde dans laquelle elle détermine l'ébullition ; la première chaudière est alimentée par un tuyau qui part du fond de la seconde et se rend dans le fond de la première. La seconde chaudière porte à la partie supérieure un tuyau qui envoie la vapeur dans la colonne distillatoire et reçoit un tuyau de retour qui lui amène, vers le fond, vinasses sortant de la colonne ; dans le cas où il n'y a qu'une seule chaudière, celle-ci reçoit les deux derniers tuyaux dont nous venons de parler.

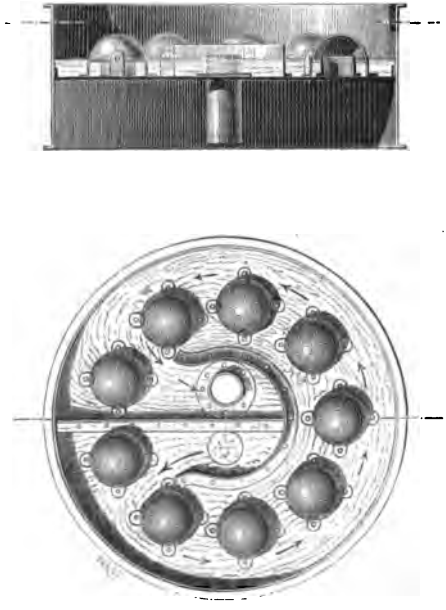


Fig. 328 *et* 329.

La colonne distillatoire est formé de dix tronçons réunis par des brides boulonnées et se termine à la partie supérieure par une calotte sphérique ; cette colonne renferme dix-huit plateaux rectificateurs ; les figures 328 et 329 représentent un de ces plateaux placé dans un tronçon de la colonne ; ce plateau est muni d'un bord relevé qu'on fixe sur le corps cylindrique au moyen d'une rivure ; il est percé de neuf orifices disposés sur une même circonfé-

rence ; ces orifices sont munis d'un bout de tube cylindrique recouvert d'une calotte hémisphérique qui est maintenue, au moyen de pattes rivées, à une petite distance du plateau. Des diaphragmes, dont l'un est disposé suivant une partie du diamètre et aboutit au second qui forme une partie de cercle concentrique avec le plateau, forçent le liquide qui arrive d'un trop-plein supérieur, figuré en ponctué dans la figure, à couler dans toute l'étendue du plateau en suivant une marche indiquée par les flèches pour arriver au trop-plein du plateau, par-dessus lequel il s'écoule sur le plateau inférieur ; d'après la disposition indiquée on voit que la marche du liquide sur le plateau inférieur se fait en sens opposé de celle qu'il suit sur le plateau supérieur.

Le chauffe-vin est formé de deux serpentins placés dans deux caisses cylindriques D et C munies de couvercles ; l'intérieur des caisses est rempli de moût à distiller qui arrive d'un réservoir supérieur F dans le tube *ss* et passe de la première caisse dans la seconde par le tube *j* ; de la seconde caisse il arrive à la colonne par le tube *pp* ; d'un autre côté, un tube L qui surmonte la colonne mène la vapeur dans la partie supérieure du serpentin C ; cette vapeur arrive ainsi que le liquide condensé dans le vase E qu'on appelle *analyseur* ; le liquide vient occuper la partie inférieure de ce vase et sort par un tube en siphon *m* qui le conduit dans le tube *nn'* d'où il se rend dans le serpentin du réfrigérant ; la vapeur remonte par le tube *oo* dans le serpentin du vase D et se rend ensuite par le même tube *n n'* au serpentin du réfrigérant ; dans le vase C le moût est déjà assez échauffé pour que des vapeurs alcooliques puissent s'échapper du liquide de la caisse ; ces vapeurs sont prises par un tube placé sur le couvercle de la caisse et qui vient aboutir aussi au tube *nn'*.

Le réfrigérant est formé d'un serpentin placé dans une caisse G et auquel aboutit le tube *nn'* ; la caisse cylindrique est pleine d'eau amenée froide d'un réservoir supérieur H et qui s'écoule par un trop-plein placé en haut de la caisse à droite de la figure.

La chaudière A est chauffée au moyen de vapeur à trois ou quatre atmosphères, le liquide qu'elle contient bout à 101 ou 102°. C'est qu'en effet la vapeur dans l'appareil se forme à une pression un peu plus forte que celle de l'atmosphère, puisqu'elle a à vaincre en plus de celle-ci la pression exercée sur chaque plateau par la couche de liquide qui s'y trouve. La vapeur ainsi formée s'élève dans la colonne et barbote successivement dans le liquide de chaque plateau en passant par les neuf orifices dont ils sont munis à cet effet ; on re-

marque que la vapeur ne passe pas par le tube de trop-plein, celui-ci se prolongeant assez pour venir plonger dans le liquide du plateau inférieur. Dans ce barbotage, la vapeur subit une condensation partielle et monte en s'enrichissant de plateau en plateau jusqu'au sommet de la colonne ; par cette condensation la vapeur maintient l'ébullition sur chaque plateau dans un liquide de plus en plus chargé d'alcool ; la température d'ébullition s'abaisse de plus en plus, et il en résulte des vapeurs de plus en plus chargées d'alcool ; nous avons dit plus haut comment ces vapeurs sortant de la colonne et suffisamment riches sont complétement condensées d'abord dans les serpentins du chauffe-vin, ensuite dans celui du réfrigérant. Au sortir du réfrigérant le liquide alcoolique arrive par un tube *v* dans l'éprouvette *x*, où se trouve un alcoomètre qui permet de surveiller la marche de l'opération ; le liquide passe ensuite de l'éprouvette dans le réservoir spécialement destiné à le recevoir. Avec l'appareil dont la colonne a un mètre de diamètre, on peut distiller en vingt-quatre heures 1,200 hectolitres de jus fermenté donnant 96 hectolitres d'eau-de-vie à 49°.

1541. *Appareil Savalle.* — La colonne distillatoire de M. Savalle renferme les mêmes parties principales que celle de M. Dubrunfaut, mais leur disposition et leur agencement diffèrent notablement ; de plus M. Savalle a muni son appareil d'un certain nombre de dispositions accessoires qui ont pour but d'obtenir une régularité parfaite du travail, de sorte que la distillation s'accomplit dans des conditions presque complétement automatiques. L'ensemble de l'appareil est représenté figure 330.

Le chauffage se fait à la vapeur, fournie généralement par un générateur qui marche à la pression de 5 atmosphères. Dans la plupart des cas, la vapeur arrive directement dans le soubassement en fonte de la colonne par le tube *i* ; ce soubassement est muni d'un tube à niveau 5, et d'un robinet de purge 6 ; on y a de plus adapté un reniflard 4, qui laisse rentrer l'air dans la colonne quand la pression s'y trouve accidentellement inférieure à la pression atmosphérique.

Le soubassement en fonte dont nous venons de parler est surmonté de la colonne distillatoire proprement dite, formée de 25 tronçons rectangulaires, surmontés de la couverture de la colonne ; ces tronçons sont réunis au moyen de pinces en fer. Chaque tronçon contient un plateau ; à la hauteur de chaque plateau se trouvent des regards en bronze qui permettent le nettoyage sans qu'on soit obligé de démonter l'appareil.

Les plateaux ont la forme rectangulaire, ils sont representés

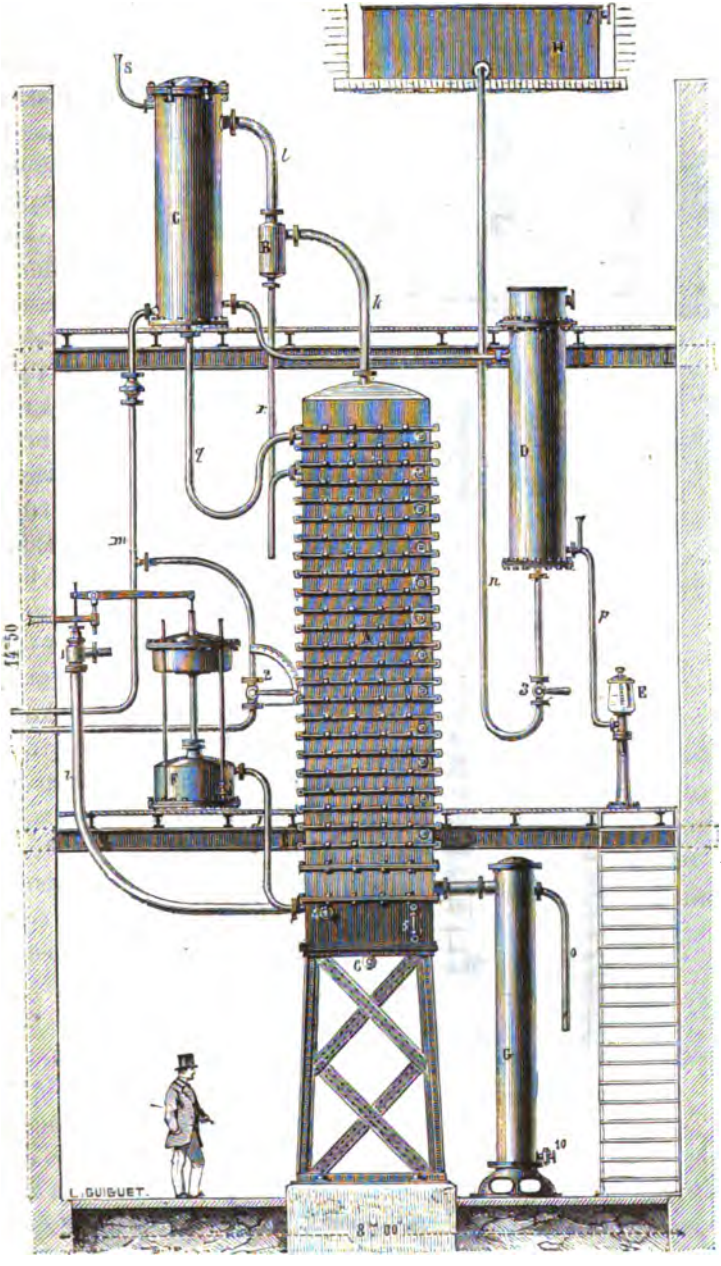


Fig. 330.

figure 331 et 332. Ils sont munis de deux ouvertures rectangulaires très-allongées, munies de rebords légèrement inclinés; ces ouvertures sont recouvertes d'une gouttière renversée dont le bord inférieur descend un peu plus bas que le rebord supérieur des ouvertures; un trop-plein, aussi rectangnlaire, est placé dans l'angle du plateau; la coupe du trop-plein se voit avec le regard de nettoyage qui lui correspond fig. 331. La disposition des ouvertures du plateau divise celui-ci en trois canaux latéraux que le liquide traverse successivement pour arriver au trop-plein; dans deux plateaux successifs, ces trop-pleins sont placés aux extrémités opposées d'une diagonale. A chacun des canaux parcourus par le liquide correspond un regard de nettoyage. On voit que la vapeur s'introduit dans chaque tronçon par les ouvertures des plateaux, et vient barboter dans le liquide entre le rebord de l'ouverture et la gouttière renversée. Le moût est dans les grands appareils soumis à une circulation très-active; dans la colonne construite pour la distillerie de MM. Springer et Cie, pour un travail journalier de 25,000 kilogrammes de grains, la vitesse de circulation est de 0m,35 par seconde; ce déplacement rapide joint à l'action du barbotage empêche la formation des dépôts dans le cas des moûts épais, comme ceux qui proviennent des grains. Les vapeurs, en sortant de la colonne, se rendent par le tube *k* dans un brise-mousse *b*, muni d'un retour à siphon *r* qui se branche sur le troisième tronçon du haut de la colonne; du brise-mousse, un tube *l*

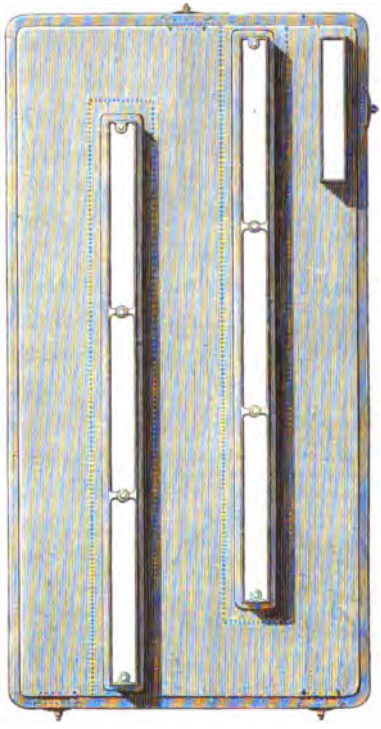


Fig. 331 *et* 332.

mène les vapeurs dans un chauffe-vin tubulaire ; le liquide est dans les tubes et la vapeur les entoure, cette disposition est particulièrement favorable au nettoyage ; le moût arrive au chauffe-vin par le tuyau *m*, le robinet 2 sert à en régler le débit, puis il s'écoule par le tube *q* pour arriver sur le premier plateau de la colonne ; les vapeurs passent ensuite dans le réfrigérant D, tubulaire comme le chauffe-vin, et elles sont condensées au moyen de l'eau froide fournie par un réservoir supérieur H, qui se rend dans le réfrigérant par le tube *n ;* l'alcool condensé se rend par le tube *p* à l'éprouvette E.

D'un autre côté, le moût épuisé arrive au bas de la colonne et se rend dans le réservoir de contre-pression C ; on voit cet appareil en coupe avec la disposition interne des tronçons au bas de la colonne dans la figure 333. La pression de la vapeur au bas de la colonne est supérieure à celle de l'atmosphère de la somme des hauteurs de liquide qui se trouvent sur les plateaux pour empêcher sa sortie par

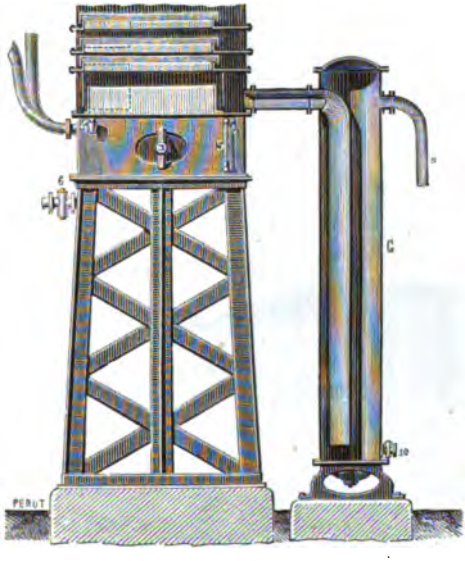


Fig. 333.

le vase G ; on munit celui-ci d'un diaphragme médian dont la hauteur est égale à celle qui mesure l'excès de pression de la vapeur ; le vase G porte un robinet de purge 10 ; en O, se trouve le tube de sortie des vinasses.

L'introduction de la vapeur dans l'appareil se fait sous l'action d'un régulateur automatique représenté en F dans l'ensemble et à part figure 334. Ce régulateur se compose de deux réservoirs réunis par un tube central B et par des boulons, le tube B descend jusque

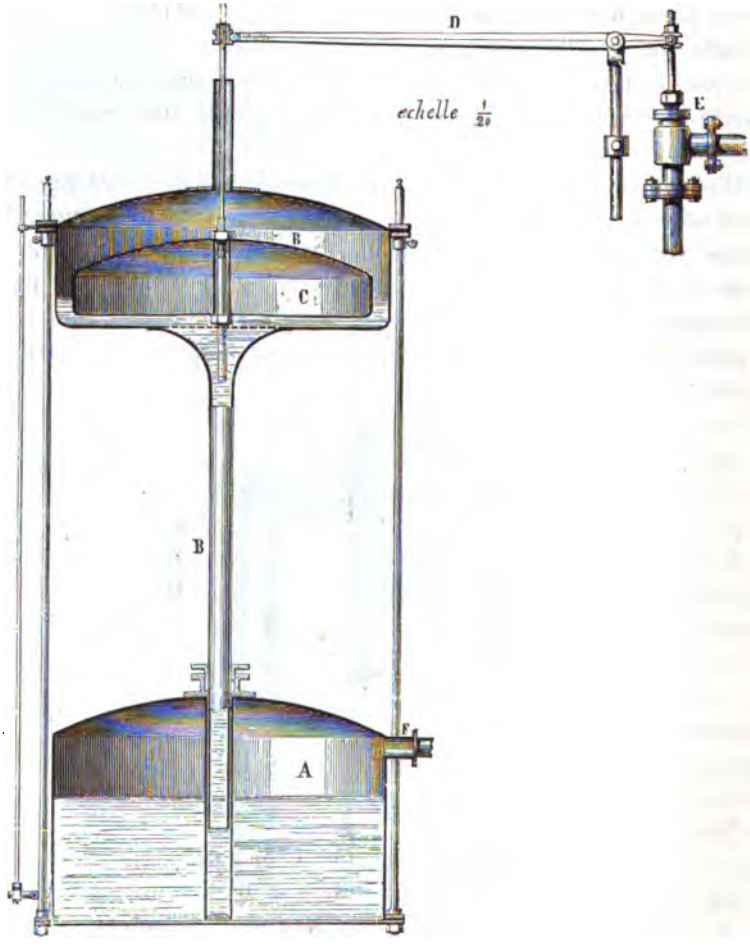


Fig. 334.

vers le fond du réservoir inférieur ; un flotteur C agit sur l'extrémité d'un levier D dont la seconde extrémité agit sur la tige d'une soupape E qui sert à fermer ou à ouvrir l'arrivée de la vapeur du régénérateur. La base de la colonne est mise en communication avec le régulateur par un tuyau qui s'ajuste en F. Ce tube sert en même

temps de retour à l'excès d'eau qui se trouve dans la bâche A ; on commence par introduire de l'eau dans la bâche A, jusqu'au niveau du tube F ; la pression de la vapeur fait monter cette eau dans le réservoir supérieur à un niveau qui est indiqué par un tube à niveau monté sur l'appareil. Ces variations de niveau se transmettent au flotteur, et de là au levier D qui ferme la soupape quand ce niveau s'élève au-dessus d'une hauteur déterminée, et la rouvre lorsqu'il s'abaisse au-dessous. Ce régulateur règle la pression à un centimètre d'eau près.

Dans le cas de la distillation des mélasses provenant des sucreries de betteraves, il faut éviter d'introduire de l'eau dans les moûts qui doivent être ensuite évaporés pour en extraire les sels de potasse ; aussi ne doit-on point alors faire arriver directement la vapeur dans la colonne ; on a longtemps employé pour le chauffage, dans ce cas, des serpentins parcourus par la vapeur du générateur et placés dans le bas de la colonne ; ces serpentins se salissent et se détériorent rapidement, M. Savalle les a remplacés par un système tubulaire complétement séparé de la colonne ; il est représenté figure 335. La vapeur arrive par le tuyau *i*, et coule autour du faisceau tubulaire ; l'eau de condensation est expulsée au moyen du robinet 8 ; elle peut d'ailleurs retourner à la chaudière pour l'alimenter ; la vinasse à chauffer arrive par le tube *x*, coule dans le faisceau tubulaire et sort d'une façon continue par le robinet 7. Un tube à niveau 10 permet

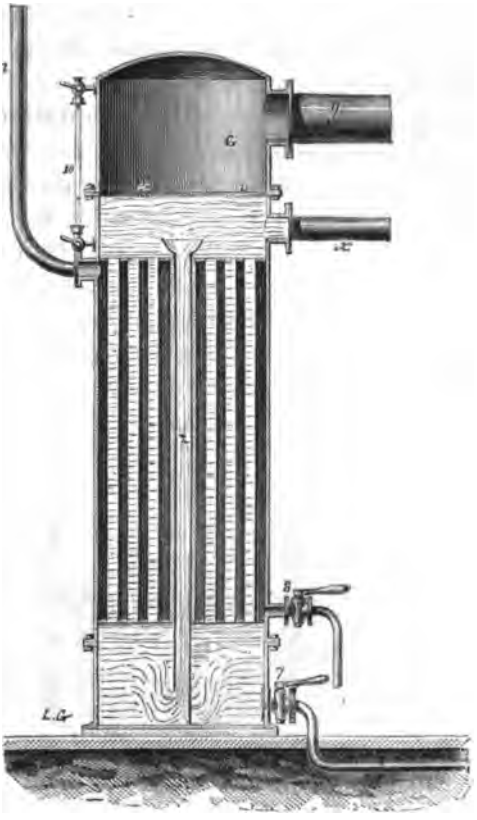


Fig. 335.

de régler le niveau dans l'intérieur; les vapeurs produites par l'ébullition de la vinasse se rendent à la colonne distillatoire par le tube *y*. Le gros tube 2 placé dans l'axe de l'appareil aide à la circulation de la vinasse qui s'élève par l'ébullition dans le faisceau tubulaire, et redescend par le tube *z*. On peut, dans certains cas, appliquer au chauffage de cet appareil tubulaire les vapeurs d'échappement des machines.

L'avantage que présentent les appareils de M. Savalle tient surtout à la régularité de leur marche; cette régularité est obtenue: 1° par les dimensions convenables données aux différentes parties de l'appareil; 2° par des rapports de section convenablement déterminés pour obtenir une circulation régulière soit des moûts, soit des vapeurs dans toutes les parties de l'appareil; 3° par le régulateur automatique du chauffage qui permet d'obtenir dans la colonne une pression, et par suite une température constante.

Les colonnes distillatoires établies par M. Savalle, en cuivre ou en fonte de fer et cuivre, ont des numéros de dimension variant de 1 à 15; le travail effectué s'élève de 300 à 4,500 hectolitres de moût, riche de 3 à 8 pour 100 d'alcool, distillé en vingt-quatre heures. La consommation de vapeur exige un générateur dont la force varie de 12 à 175 chevaux, calculés à raison de $1^{m},45$ de surface de chauffe par cheval; la consommation d'eau froide à 12° est, lorsqu'on opère sur des vins à 4 pour 100 d'alcool, de 900 à 13,500 litres par heure.

1542. En Angleterre, on se servait, dans les distilleries de grains,

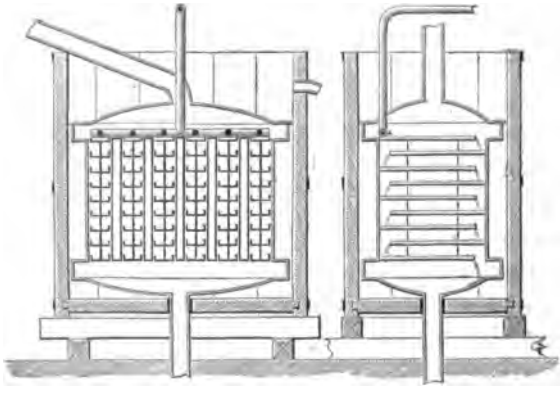


Fig. 336 *et* 337.

d'un appareil d'analyse dont les figures 336 et 337 représentent deux coupes verticales perpendiculaires. Il se compose d'une caisse en

bois, renfermant de l'eau maintenue à une température constante. Cette caisse en renferme une autre en cuivre mince, également rectangulaire, communiquant par le bas avec la chaudière, et par le haut avec le condensateur et le réservoir de la liqueur à distiller. La caisse en cuivre est traversée dans le sens de sa plus petite largeur par cinq tuyaux étroits, rectangulaires, ayant la hauteur de la partie rectiligne de la caisse, et dans lesquels l'eau de la caisse en bois peut facilement circuler. Dans les intervalles des tuyaux dont nous venons de parler, la caisse en cuivre renferme un grand nombre de plaques à rebords, légèrement inclinées alternativement en sens contraire et disposées de manière qu'un liquide versé sur la première s'écoule successivement sur toutes les plaques. A la partie supérieure de la caisse, un petit tuyau amène le liquide à distiller qui se répartit, au moyen d'un tuyau horizontal, dans chaque système de plaques, d'où il s'écoule dans la chaudière. L'eau chaude du réservoir en bois s'écoule par un tuyau placé à la partie supérieure, et elle est remplacée par de l'eau froide qu'amène un autre tuyau.

Pour maintenir une température constante dans l'eau, on emploie un appareil composé de deux barres, l'une en fer, l'autre en cuivre, soudées dans le sens de leur longueur et courbées de manière à présenter la forme d'une paire de pincettes ; l'écartement des branches varie avec la température en vertu de l'inégale dilatation des deux métaux ; on conçoit alors qu'une des branches étant fixe, l'autre peut agir sur le robinet de l'eau froide, de manière à maintenir sensiblement constante la température de l'eau. Les plaques sont fixées sur des tiges qui permettent de les enlever toutes à la fois pour les nettoyer. Le condensateur est disposé exactement comme le rectificateur. Pour se servir de cet appareil, on commence par remplir la chaudière de liquide à distiller ; on la porte à l'ébullition, et lorsque l'eau du vase en bois a atteint une température de 78°, 80° ou 82°, suivant le degré de concentration qu'on veut obtenir, on ajuste au robinet du tuyau d'arrivée d'eau froide le régulateur de température, et on ouvre convenablement le robinet d'accès du liquide à distiller et celui de l'écoulement de la vinasse épuisée ; le liquide s'écoule simultanément par toutes les séries de plaques, en parcourant successivement toutes celles d'une même série, et arrive dans la chaudière, presque entièrement dépouillé d'alcool. Les vapeurs produites dans la chaudière marchent en sens contraire et arrivent dans le rectificateur à un degré de concentration qui dépend de la température de l'eau de la caisse. Cet appareil donne de bons résultats. La

disposition des plaques est bonne ; la surface de contact des vapeurs et du liquide est très-étendue, et il n'y a point d'accroissement de pression dans la chaudière. Mais il est très-probable que la vapeur ne se répartit pas également dans les différents chemins que lui offrent les différentes séries de plaques ; de plus, le condenseur étant disposé comme le rectificateur, l'air ne peut pas en être expulsé, et par suite l'appareil n'a pas toute la puissance qu'il aurait si les surfaces métalliques avaient la forme d'un serpentin ordinaire. Cependant, comme toutes ces observations ne conduisent qu'à reconnaître que les effets du rectificateur et du condenseur ne sont pas ce qu'ils pourraient être, l'appareil en question doit donner de bons résultats, quand la quantité de liquide introduit dans la chaudière pendant un certain temps ne dépasse pas une certaine limite.

1543. En Angleterre, les liqueurs vineuses obtenues par la fermentation de différentes matières amylacées, sont décantées avant d'être soumises à la distillation. En Hollande et en Belgique, on soumet toutes les matières liquides et les dépôts aux appareils qui doivent extraire l'alcool. Dans le premier cas, l'appareil que nous venons de décrire peut être employé ; mais on préfère chauffer la chaudière au moyen d'un serpentin parcouru par de la vapeur à haute pression, parce que les matières en suspension, se déposant au fond des chaudières chauffées à feu nu, pourraient s'altérer et donner un mauvais goût au produit de la distillation.

1544. *Appareil Coffey.* — En Angleterre, on emploie à la fabrication des eaux-de-vie de graines diverses, des appareils gigantesques qui peuvent produire jusqu'à 300 hectolitres de liquide alcoolique à 58° centésimaux ; ces appareils sont construits en bois, à parois épaisses, pour éviter la déperdition de la chaleur, et doublés intérieurement en cuivre. L'un de ces appareils est représenté figure 338 ; il se compose d'un premier réservoir inférieur divisé en deux compartiments, A et B, par une plaque en cuivre horizontale percée de petits trous dans toute son étendue, et munie d'un certain nombre de trous plus grands fermés par des soupapes de sûreté *a* ; un tube *b* amène la vapeur dans le compartiment inférieur ; cette vapeur barbote dans la vinasse que contient ce compartiment et qui s'écoule par le tube *d* ; chacun des compartiments est muni d'un tube à niveau ; un tuyau *e*, muni d'une soupape qu'on manœuvre extérieurement, permet de faire passer le liquide du compartiment A dans le compartiment B, quand le niveau s'élève trop dans le premier ; ce tuyau plonge dans une petite cuvette, de sorte que le liquide que con-

tient cette cuvette, en remontant dans le tuyau *e*, empêche le passage de la vapeur par ce tuyau. La vapeur est donc forcée de traverser les trous de la plaque de séparation et vient barboter dans le liquide de A qu'elle porte à l'ébullition. Au-dessus du compartiment A sont montées deux colonnes distillatoires de 15 mètres de hauteur; la première colonne C contient environ quarante plateaux percés de petits trous et

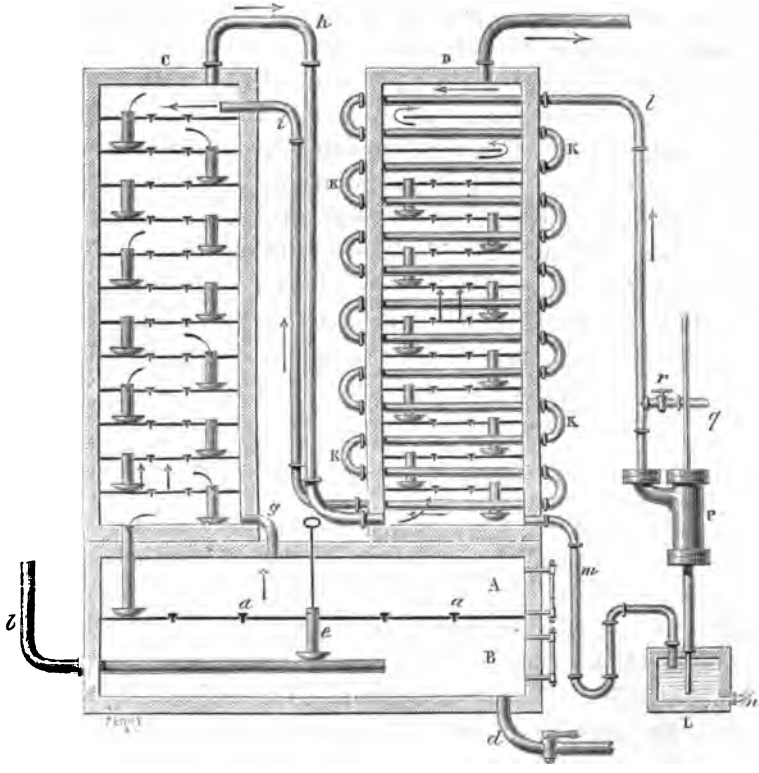


Fig. 338.

munis de soupapes de sûreté, et chacun d'un tube de trop-plein muni d'une cuvette à sa partie inférieure ; un tube de trop-plein fait passer le liquide de la colonne C dans le compartiment A, les vapeurs passent de A dans la colonne C par le tube *g;* le moût arrive à la partie supérieure de la colonne par un tube *i;* les vapeurs sortent de la colonne par un tube *h* qui les amène à la partie inférieure de la colonne D ; cette colonne renferme un serpentin KK, dans lequel coule le moût amené à la partie supérieure du serpentin par le tube *l* et

qui se rend à la partie inférieure du serpentin dans le tube *i;* ce serpentin fait plusieurs circuits dans un même plan horizontal; ces différents étages horizontaux du serpentin sont séparés par des plateaux perforés, munis de soupapes de sûreté, et d'un trop-plein à cuvette inférieure, sauf pour les étages supérieurs où les diaphragmes sont simplement disposés en chicane; le liquide qui s'est condensé dans la colonne D se rend par un tuyau *m* en siphon dans une bâche L où arrive aussi le moût fourni par un réservoir placé un peu plus haut, au moyen du tuyau *n;* une pompe P envoie le liquide de la bâche L dans le serpentin par le tuyau *l*, et un tube *q* ramène au réservoir de moût le liquide que la pompe fournit en excès; le robinet *r* sert à régler ce retour. Les vapeurs qui ont traversé la colonne D se rendent au réfrigérant qui est formé d'un corps cylindrique dans lequel se trouve un faisceau tubulaire, la vapeur circule dans les tubes et l'eau autour du faisceau. On règle la marche de l'appareil par l'observation d'un thermomètre qu'on place sur le tube de sortie du serpentin; selon que le moût arrive à une température trop élevée ou trop basse, on ouvre moins ou plus le robinet *r*, de façon à augmenter ou à diminuer l'arrivée du moût dans le serpentin, en diminuant ou en augmentant la quantité du moût qui retourne au réservoir.

1545. *Rectification.* — La rectification des alcools consiste, non-seulement à les amener à un degré élevé s'ils sont faibles, mais encore à les priver des différents produits acides, alcooliques et éthérés autres que l'alcool ordinaire ; on se fonde, pour arriver à ce dernier résultat, sur ce que les produits mélangés à l'alcool, et qui lui donnent souvent une odeur ou une saveur désagréable, ont un point d'ébullition différent; on procède alors à une nouvelle distillation du produit. En fractionnant l'alcool obtenu, on peut obtenir un liquide très-riche en alcool, marquant jusqu'à 94 ou 96° à l'alcoomètre, et privé complétement de substances étrangères.

Cette nécessité de fractionner les produits fait que, dans la rectification, l'opération ne peut pas se faire d'une façon continue. Sauf cette intermittence nécessaire des opérations, les appareils rectificateurs rappellent dans leurs principales dispositions les appareils distillatoires que nous avons étudiés.

1546. *Appareil rectificateur Dubrunfaut.* — Il est formé d'une chaudière A (*fig.* 339), dans laquelle on introduit toute la quantité d'alcool à rectifier en une seule opération ; le liquide employé doit marquer de 49 à 50° centésimaux. S'il avait un degré plus élevé que

celui-là, on l'y ramènerait par une addition d'eau. La chaudière a une contenance qui peut varier de 30 à 60 hectolitres; les dimensions les plus grandes sont les meilleures; la séparation de l'alcool pur par fractionnement se faisant d'autant mieux qu'on opère sur des quantités plus considérables, *a* est le tube qui amène la vapeur; il se recourbe à l'intérieur et se termine par une pomme d'arrosoir, *a''* est un tube à niveau, *b* le tuyau de remplissage, *a'* le tuyau de vidange. Une colonne distillatoire B, formée de dix tronçons contenant dix-huit plateaux disposés comme ceux que nous avons décrits précédemment (1640), est placée au-dessus de la chaudière; un tube C, qui part du sommet de celle-ci, amène les vapeurs à la partie inférieure de la colonne; un tube *d* ramène au fond de la chaudière le liquide qui s'est condensé dans la colonne. Deux serpentins rectificateurs sont placés l'un au-dessus de l'autre dans la même bâche C, contenant de l'eau qui a déjà servi à refroidir les vapeurs du réfrigérant, cette eau arrive par le tube *m* et s'écoule par le trop-plein *n*. Le serpentin C', qui reçoit d'abord les vapeurs de la colonne, est maintenu à une température un peu plus élevée que le serpentin C; au sortir du premier serpentin, les vapeurs passent par un analyseur E où se fait leur séparation d'avec le liquide condensé; celui-ci est amené, par le tube à siphon *f*, sur le troisième plateau de la colonne; la vapeur va par le tube *g* au second serpentin, d'où elle sort avec le liquide de condensation pour se rendre à l'analyseur F; le liquide condensé, plus riche en alcool que le précédent, descend par

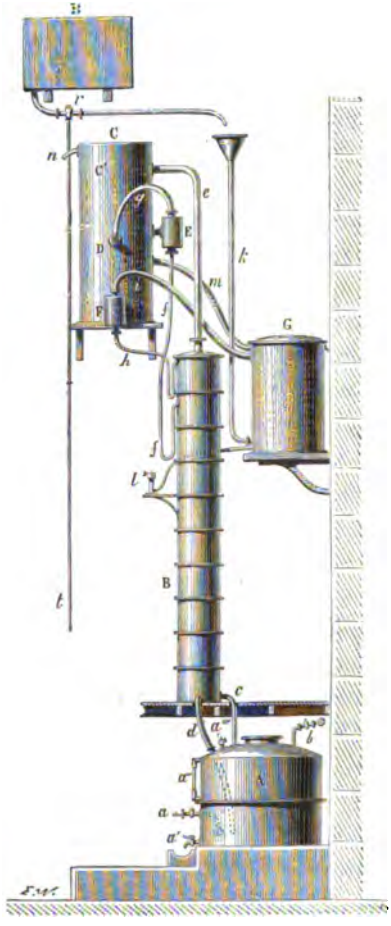


Fig. 339.

le tube à siphon *h* sur le premier plateau de la colonne, les vapeurs alcooliques très-riches passent alors dans le serpentin du réfrigérant G pour s'écouler dans l'éprouvette *l;* cette éprouvette est munie d'un robinet qui envoie dans des résrvoirs séparés les produits fractionnés de la distillation. L'eau qui sert à la condensation est fournie par le réservoir supérieur H; un robinet *r* sert à régler le débit; elle est amenée par le tuyau K au réfrigérant.

Quand on commence une opération, la chaudière étant alimentée du flegme nécessaire, on chauffe modérément, et on fait couler l'eau de condensation rapidement, de façon à ce qu'elle sorte presque froide du trop-plein *n;* dans ces conditions, il n'arrive à l'éprouvette que des liquides plus volatils que l'alcool, et parmi lesquels se trouve l'aldéhyde, en même temps les plateaux se trouvent chargés d'un liquide alcoolique presque pur, et les huiles essentielles moins volatiles que l'alcool, ainsi que l'eau, retournent à la chaudière, c'est cette opération qu'on désigne par l'expression *faire les plateaux;* elle dure à peu près trois heures, les produits qu'elle fournit sont les *mauvais goûts;* on diminue ensuite l'arrivée de l'eau de façon à ce qu'elle s'écoule à une température voisine de 50°, c'est alors de l'alcool qui arrive à l'éprouvette, il marque environ 94° centésimaux, il est encore légèrement chargé de produits étrangers, mais il devient bientôt pur et le produit qu'on recueille ensuite marquant de 96 à 90° centésimaux constitue l'alcool *bon goût;* quand le degré s'abaisse au-dessous de 90°, l'alcool obtenu contient des huiles essentielles; on recueille ce qui passe jusqu'à 49°, c'est de l'alcool mauvais goût; ce qui passe ensuite forme les petites eaux, qui sont soumises à une nouvelle rectification.

1547. *Appareil rectificateur Savalle.* — Cet appareil, représenté figure 340, se compose d'une chaudière A, contenant l'alcool à rectifier, ramené au titre de 40 à 45° centésimaux, par une addition d'eau, qui facilite la séparation des huiles infectes; elle renferme un serpentin qui sert à chauffer le liquide à la vapeur, mais sans barbotage; l'arrivée de la vapeur se fait par l'intermédiaire du régulateur E, que nous avons décrit précédemment; 2 est le robinet de sortie des eaux de condensation de la vapeur de chauffage. L'appareil est muni de deux tubes à niveau 10; *n* est le tube qui sert à remplir la chaudière; 8 est un reniflard; 9 un trou d'homme pour le nettoyage de la chaudière et du serpentin; 12 le robinet de décharge des huiles essentielles; la chaudière est surmontée d'un dôme G à travers lequel passe la vapeur et qui porte un thermomètre 11; dans l'axe de

la chaudière et au-dessus d'elle se trouve une colonne distillatoire formée de quatre tronçons et munie de vingt-six plateaux perforés, munis chacun d'un tube de trop-plein qui vient descendre dans une petite cuvette formée par le plateau inférieur, de façon à éviter le passage de la vapeur par ce tube. Les vapeurs sortent de la colonne par le tube *g* pour se rendre d'abord dans le condenseur analyseur tubulaire C; le liquide de condensation retourne sur le premier pla-

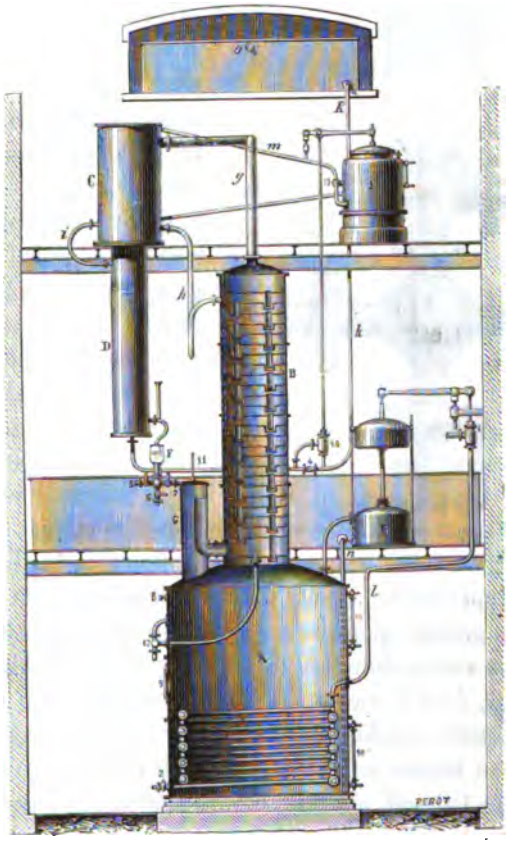


Fig. 340.

teau de la colonne par le tube *h*, les vapeurs se rendent par le tuyau *i* dans le réfrigérant tubulaire D ; les vapeurs circulent dans le réfrigérant et dans l'analyseur autour du faisceau tubulaire ; l'eau circule à l'intérieur des tubes ; elle est amenée par le tuyau *k* et sort par le tuyau *m* d'où elle se rend dans le régulateur d'admission J, pour se

perdre ensuite ; ce régulateur sert à alimenter le réfrigérant en agissant sur la valve 14, de telle façon que l'eau sorte en *m* avec une température déterminée. L'alcool fourni par le réfrigérant arrive dans l'*éprouvette-jauge* F qui est représentée à part (*fig.* 341) ; elle a pour but d'indiquer la production de l'appareil en alcool ; le principe de sa construction est basé sur l'écoulement plus ou moins considérable qui se produit par un orifice donné sous des pressions différentes ; elle se compose d'un réservoir E en verre, alimenté d'alcool par le tube C ; l'alcool circule autour du tube F et passe ensuite dans l'éprouvette E ; le tube F est surmonté d'un tube en verre gradué percé à la partie inférieure d'un petit orifice qu'on règle une fois pour toutes à la mise en train de l'appareil ; cet orifice a une section telle que l'alcool fourni par l'appareil ne peut y passer totalement que sous l'influence d'une certaine pression ; le liquide monte donc dans l'éprouvette d'une quantité d'autant plus grande qu'il afflue en plus grande quantité ; la division marquée sur le tube gradué indique la valeur du débit ; l'alcool se rend dans le réservoir de distribution G, d'où il sort par l'un des robinets I, J ou K, suivant qu'il est *bon goût*, médiocre ou *mauvais goût*. Dans l'alcool de l'éprouvette E se trouve un alcoomètre qui indique à chaque instant la richesse de l'alcool obtenu ; en D se trouve un petit robinet de dégustation.

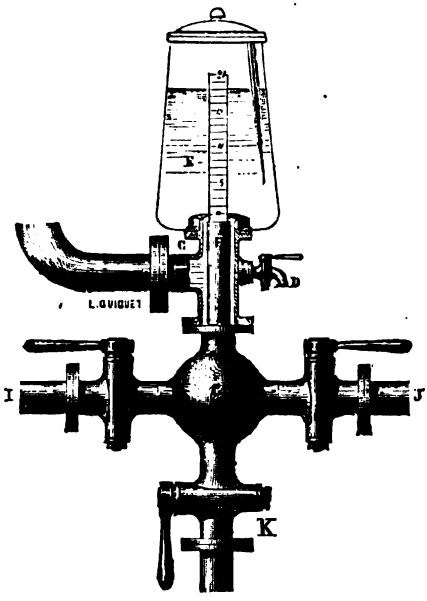


Fig. 341.

M. Savalle conseille d'introduire dans les flegmes, avant la rectification, une certaine quantité de potasse perlasse, ayant pour but de neutraliser la petite quantité d'acide que renferment les liquides à rectifier. Cette quantité est variable avec la nature des alcools : voici les nombres moyens qu'indique M. Savalle comme le résultat d'une longue expérience. On conçoit d'ailleurs que ces quantités peuvent varier en plus ou moins suivant la nature des liquides à rectifier.

Alcool de mélasse à 60°, 43 grammes par hectolitre.
— garance à 75°, 6 grammes par hectolitre.
— grains à 55°, 95 grammes par hectolitre.
— marcs de raisin à 86°, 20 grammes par hectolitre.
— fécule de pommes de terre à 50°, 86 grammes par hectolitre.
— maïs à 60°, 75 grammes par hectolitre.
— betteraves à 50°, 10 grammes par hectolitre.
— genièvre de Schiedam, 85 grammes par hectolitre.
— eau-de-vie de cidre, 155 grammes par hectolitre.
— 3/6 Montpellier (non rectifié) à 86°, 41 grammes par hectolitre
— lichen de Norvége, 22 grammes par hectolitre.
— eau-de-vie de la Rochelle, 56 grammes par hectolitre.

Voici maintenant la conduite de l'opération :

Les flegmes saturés de potasse, comme nous venons de le dire, sont amenés par addition d'eau, si cela est nécessaire, à un degré centésimal compris entre 40 et 50.

Pour chauffer l'appareil, on ouvre d'abord le robinet de purge n° 4, puis celui de vapeur, en plein, pour chauffer promptement les flegmes. Quand le contenu de la chaudière A est en ébullition, on ferme à moitié le robinet de vapeur, afin de purger sans soubresaut l'air contenu dans la colonne, puis on ouvre en plein le robinet d'eau de condensation n° 4. Les vapeurs alcooliques sont alors condensées en C, et retournent à l'état liquide, par le tuyau *h*, garnir successivement tous les plateaux de la colonne B ; on reconnaît que les plateaux de celle-ci sont suffisamment garnis par l'action du régulateur de vapeur qui, à ce moment, fonctionne. Il se passe environ trente-cinq minutes, pendant lesquelles la pression monte graduellement dans le tube indicateur du régulateur ; cette pression est la représentation des couches successives d'alcool qui viennent garnir les plateaux de la colonne.

Dès que tous les plateaux sont garnis d'alcool, on diminue l'arrivée de l'eau froide dans le condensateur C, de manière à ne plus condenser que les 2/3 de la vapeur arrivant dans le condensateur ; l'autre tiers se rend dans le réfrigérant D, et de là dans l'éprouvette.

Les premiers produits sont à 94° très-fortement chargés de produits éthérés, d'une odeur âcre, forte, et généralement d'une couleur verte. — On les laisse aller au réservoir à mauvais goût, aussi longtemps qu'ils sont imprégnés de cette odeur piquante. — On obtient ainsi environ 3 pour 100 du produit mis en travail. Ensuite l'alcool s'épure graduellement, il est d'une qualité supérieure au premier, et se mélange

aux alcools bruts de l'opération du lendemain ; ensuite commence, par le fractionnement, l'arrivée du 3/6 du bon goût qui se reconnaît à sa neutralité, sa douceur et sa limpidité ; il se continue presque jusqu'à la fin de l'opération.

Quand le thermomètre, posé sur le dôme O, marque 99 à 100°, on déguste le produit à l'éprouvette F, et on le fractionne en le renvoyant au réservoir à alcool demi-fin aussitôt que l'on observe que sa qualité diminue.

Puis, aussitôt que le thermomètre arrive à 101°, on fait cesser la production de l'alcool à l'éprouvette F, en ouvrant un peu plus le robinet d'eau de condensation n° 4. — Cette condensation a pour effet de maintenir l'alcool à fort degré dans le condensateur C, et dans la partie supérieure de la colonne, pour empêcher ces parties de l'appareil de s'imprégner d'huiles essentielles.

Enfin, quand le thermomètre marque 102°, le liquide contenu dans celle-ci est épuisé d'alcool ; on ouvre alors le robinet n° 3 de vidange des eaux de la chaudière, puis on tourne le robinet à trois eaux n° 12, posé sur la partie cylindrique de la chaudière, pour mettre en communication la colonne et le réservoir aux huiles ; enfin on ferme, immédiatement après, le robinet de vapeur qui chauffait l'appareil ; comme la pression n'est plus maintenue dans la colonne B, les plateaux se vident successivement de haut en bas sur le plateau inférieur qui communique au réservoir à *mauvais goût* par le robinet à trois eaux n° 12 ; à cette période de l'opération, les plateaux de la colonne ne contiennent plus que des huiles essentielles et de l'alcool *mauvais goût ;* on les envoie dans le réservoir où on a logé les produits éthérés au début de l'opération.

Par ce moyen, les huiles essentielles ne viennent jamais salir le condenseur ni le réfrigérant de l'appareil ; elles restent dans les plateaux inférieurs, et ces derniers se trouvent nettoyés par le peu d'alcool à fort degré qui tombe des plateaux supérieurs.

En admettant, comme nous l'avons dit plus haut, que la chaudière soit chargée de flegmes à 50°, l'opération commence à 85° du thermomètre ; elle est terminée dès que la température s'élève à 102°, c'est-à-dire lorsqu'il ne reste plus d'alcool dans l'eau contenue dans la chaudière.

M. Réné Collette se sert d'un thermomètre électrique, qui permet de faire connaître, dans le bureau du directeur même, l'état de la distillation et de la surveiller.

L'alcool obtenu au moyen des rectificateurs Savalle marque de 96

à 97° centésimaux. Les avantages résultant de l'emploi de ces appareils tiennent à la facilité de nettoyage des plateaux, à la rapidité de la mise en train, à la régularité du chauffage et de la condensation, à la qualité supérieure des produits et enfin à la facilité que procure l'emploi du thermomètre pour diriger le fractionnement. Enfin le rendement est très-élevé, c'est ce qui résulte d'expériences faites dans l'usine de M. Porion, à Wadrecques, et qui ont porté sur le travail d'un mois. On a obtenu :

3/6 mauvais goût à retravailler.	62 hect. 84 litres.	3 » 0/0
3/6 moyens.....	445 — 82 —	21 28 0/0
3/6 extra-fins.....	1,496 — 70 —	71 58 0/0
3/5 mauvais goût à retravailler.	49 — 31 —	2 36 0/0
Perte.....	37 — 21 —	1 78 0/0
TOTAL.....	2,091 hect. 28 litres.	100 » 0/0

L'appareil a coulé au bon goût pendant 273 heures 15 minutes, soit 576 litres 1/2 à 95° par heure de coulage au bon goût. La durée totale des opérations pendant le mois avait été de 476 heures 25 minutes.

Le tableau suivant indique la production et la consommation des rectificateurs Savalle.

NUMÉROS des DIMENSIONS.	CONTENANCE des CHAUDIÈRES.	VOLUME DE 3/6 FIN produit PAR 24 HEURES.		CHEVAUX-VAPEUR pris à 1m,45 de surface de chauffe PAR CHEVAL.	VOLUME D'EAU FROIDE à 12° centigrades dépensé PAR HEURE.
	litres.	litres.	litres.	chevaux.	litres.
1	2,400	500 à	550	5	1,200
2	4,000	1,000	1,200	7	1,600
3	7,500	2,000	2,200	12	2,800
4	11,000	3,000	3,300	16	3,300
5	15,000	3,600	4,000	22	5,600
6	18,000	4,500	5,000	24	6,300
7	22,500	6,500	7,000	30	7,800
8	27,500	8,000	8,500	40	10,000
9	35,000	10,000	11,000	55	15,000
10	45,000	12,400	13,000	75	21,500
11	60,000	17,000	18,000	103	25,500
12	73,000	20,000	21,000	110	30,000

1548. *Appareils distillatoires locomobiles.* — On fait des appareils montés sur roue et qu'on peut transporter de ferme en ferme pour

distiller des quantités relativement faibles de liquides fermentés ; ces appareils sont à feu nu ou à vapeur. Celui que fait M. Savalle est chauffé à la vapeur au moyen d'un petit générateur roulant qui accompagne l'appareil ; ce dernier se compose d'une colonne rectangulaire, d'un condenseur chauffe-vin et d'un régulateur de vapeur portés par une même voiture, qui reçoit aussi le réservoir de vin, muni d'un régulateur d'alimentation, et qui s'installe pour le fonctionnement sur un double X ; ces appareils sont établis pour un travail journalier de 200 à 400 hectolitres ; la dépense est moindre de deux kilogrammes de houille par hectolitre de vin distillé.

1549. Pour un appareil de distillation et d'analyse des vapeurs à construire, quand on connaît la richesse en alcool du liquide à distiller, le degré de concentration de l'alcool qu'on doit obtenir, et la quantité de liqueur qu'on doit distiller par heure, il est facile de calculer l'étendue de la surface de chauffe de la chaudière et celle des serpentins à vapeur à haute pression, ainsi que la surface du dernier serpentin destiné à condenser les vapeurs rectifiées. Pour la chaudière, il ne faudrait compter que sur une production de vapeur de 15 à 20 kilogrammes par mètre carré et par heure ; et, si le liquide était chauffé par la vapeur, il faudrait compter sur une production de 2 kilogrammes de vapeur par mètre carré, par heure et par degré de différence de température. Mais il est impossible de calculer l'effet produit par la colonne d'analyse et par le rectificateur, quelle qu'en soit la disposition ; il faut s'en rapporter aux résultats des expériences faites sur le système d'appareil qu'on a choisi. Il est important de remarquer que, si un appareil était insuffisant pour produire, dans un temps donné, un poids déterminé d'alcool à un certain degré de concentration, en diminuant la quantité de vapeurs produites et la quantité de liquide qui parcourt l'appareil, on augmenterait nécessairement la concentration de l'alcool produit.

1550. Une question qui mérite d'être examinée est celle des distillations successives par la même chaleur, à des températures et à des pressions décroissantes. Par cette méthode, on obtiendrait des produits renfermant encore beaucoup d'eau, mais qu'on pourrait ensuite distiller dans un appareil rectificateur ; il y aurait une économie très-considérable de combustible, et comme les produits pourraient être obtenus à de faibles pressions et à des températures peu élevées, ils pourraient être dans certains cas de meilleure qualité que ceux qu'on obtient dans les conditions ordinaires.

1551. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'un liquide renfer-

mant, comme les vins, de 0,13 à 0,14 d'alcool, et que, pour en extraire la totalité, on soit obligé de vaporiser 0.2 du liquide ; comme il ne s'agit ici que d'un aperçu, négligeons la différence des quantités de chaleur renfermées dans ces vapeurs et dans la vapeur d'eau. Admettons qu'on ait quatre chaudières, et désignons par P le poids du liquide renfermé dans chacune d'elles ; en supposant qu'on y ait préalablement fait le vide, et que les excès de température soient de 20°, les températures seront de 100°, 80°, 60°, 40°, dont la moyenne est 70°, et la quantité totale de chaleur employée sera de 70 P + 0,2 (630 — 70) P = 182 P ; tandis que, si l'on effectuait des distillations simples sous la pression atmosphérique, la dépense de chaleur serait égale à 4 P (100 + 0,2. 500) = 824 P, c'est-à-dire à peu près quatre fois et demie plus grande. Si les distillations successives avaient lieu sur la totalité du liquide, la dépense de chaleur serait (630 — 70) P = 560 P ; tandis que, par des opérations simples, elle serait 4. 630 P = 2520 P, ou à peu près quatre fois et demie plus grande, comme précédemment. J'ajouterai que l'économie pourrait être augmentée en faisant passer la chaleur des vinasses épuisées dans les liquides qui les remplaceraient ; la chaleur dépensée serait alors réduite à 0,2 (630 — 70) P = 112 P, et le rapport de la chaleur qui serait absorbée par des distillations simples à celle qui est consommée dans l'opération dont il est question serait égal à 824 : 112 = 7,35.

1552. Les conditions que nous venons de supposer sont très-sensiblement celles qui se présentent dans les appareils à colonne ; chaque plateau rectificateur est alors en réalité un appareil d'ébullition spécial auquel la chaleur est fournie par la vapeur du plateau précédent. Dans le cas de ces appareils, la quantité de chaleur à fournir pour la distillation s'obtiendra en calculant : 1° la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et vaporiser l'alcool du produit obtenu ; 2° la quantité de chaleur qu'il faut pour échauffer et vaporiser l'eau qui reste dans le produit distillé ; 3° la quantité de chaleur qu'il faut pour échauffer les vinasses à la température de leur ébullition. La somme de ces quantités fournira la dépense théorique de la chaleur à laquelle il faudra ajouter la quantité de chaleur qui se perd par le refroidissement extérieur des parois de l'appareil distillatoire, mais de laquelle aussi il y a lieu de retrancher la quantité de chaleur récupérée dans le chauffe-vin. Appliquons ces considérations au cas d'une colonne distillatoire opérant sur des jus à 4 pour 100 d'alcool en volume et produisant des flegmes à 45 pour 100.

Un hectolitre de ce jus contient 4 litres d'alcool, et comme la densité de l'alcool est 0,8, le poids de l'alcool sera

$$4 \times 0,8 = 3^k,2.$$

Le flegme obtenu contiendra en eau les $\frac{55}{45}$ du volume de l'alcool, soit :

$$4 \times \frac{55}{45} = 4^l,89 \quad \text{ou} \quad 4^k,89 ;$$

le volume de la vinasse sera donc :

$$100 - 4 - 4,89 = 91,11.$$

En supposant le jus à 10°, un kilogramme d'alcool exigera pour a vaporisation sous la pression atmosphérique

$$69 \times 0,622 + 207 = 250 \text{ calories} ;$$

un kilogramme d'eau prendra $90 + 537 = 627$ pour sa vaporisation et on aura pour la quantité de chaleur théorique absorbée

$$3,2 \times 250 + 4,89 \times 627 + 91,11 \times 90 = 12066 \text{ calories.}$$

Si nous supposons la vapeur de chauffe à 5 atmosphères, chaque kilogramme de vapeur abandonnera 553 calories, pour passer à l'état d'eau à 100°, il faudra donc dépenser $\frac{12066}{553} = 21^k,8$ de vapeur pour distiller 100 kilogrammes de jus ; si nous admettons qu'un cheval corresponde à 25 kilogrammes de vapeur par heure, un hectolitre de jus distillé en une heure exigera $\frac{21,8}{25} = 0,87$ de cheval-vapeur. Cette consommation répondra à 24 hectolitres en vingt-quatre heures. Si nous comparons ces nombres avec ceux que nous avons donnés pour les colonnes distillatoires Savalle, on voit que le n° 13, qui distille 2500 hectolitres en vingt-quatre heures, exige 95 chevaux ; à 0,87 de cheval par 24 hectolitres on trouverait 90 chevaux environ ; on voit donc que, dans les colonnes distillatoires Savalle, la chaleur perdue par les parois est très-sensiblement égale à celle qui est récupérée par le chauffe-vin.

1553. Ces calculs ne s'appliqueraient plus aux rectificateurs, car, dans ce cas, il n'y a plus de chaleur récupérée par le chauffe-vin, et indépendamment de la chaleur perdue par la surface extérieure de l'appareil, il y aurait lieu de tenir compte de la chaleur dépensée dans

le condenseur analyseur et dont l'importance est considérable, puisque dans le rectificateur Savalle, les deux tiers des vapeurs arrivant au condenseur font retour à la chaudière.

Essayons d'établir par un calcul approximatif la quantité de vapeur nécessaire à la marche du rectificateur; nous supposerons des flegmes à 45° fournissant de l'alcool à 95° centésimaux. Un hectolitre de flegme contient 45 litres d'alcool dont la densité est 0,8, et le poids $45 \times 0,8 = 36$ kil.

Le flegme obtenu contient en eau les $\frac{4}{96}$ de son volume d'alcool, soit $45 \times \frac{4}{96} = 2$ litres ou 2 kilogrammes.

Le volume de la vinasse sera $100 - 45 - 2 = 53$ litres, et son poids sera 53 kilogrammes.

La quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser et échauffer les 36 kilogrammes d'alcool sera $36 \times 250 = 9,000$ calories; celle qu'il faudra pour vaporiser les 2 kilogrammes d'eau sera $2 \times 627 = 1354$; mais nous avons dit que les deux tiers du liquide que formerait la condensation des vapeurs arrivant dans l'analyseur font retour à l'appareil pour être vaporisés de nouveau; de plus, la portion qui retourne aussi à l'appareil est notablement plus riche en eau que celle qui va au condenseur, supposons qu'elle soit 80° centésimaux. Le volume du liquide qui se forme dans le condenseur était de 47 litres, celui du liquide qui fait retour à l'appareil sera de 94 litres environ contenant $94 \times 0,20 = 18^{l},8$ d'eau et $94 \times 0,80 = 75^{l},2$ d'alcool.

La quantité de chaleur nécessaire pour échauffer et vaporiser l'alcool sera $75,8 \times 0,8 \times 250 = 15040$ calories, et celle qu'il faudra pour échauffer et vaporiser l'eau sera $18,8 \times 627 = 11787$ calories.

Enfin la quantité de chaleur nécessaire à échauffer la vinasse sera de $53 \times 90 = 4770$ calories. La quantité totale de chaleur requise pour la rectification d'un hectolitre de flegme sera donc :

$$9000 + 1354 + 15040 + 11787 + 4770 = 41951 \text{ calories.}$$

En supposant que chaque kilogramme de vapeur condensée fournisse 550 calories, cela répond à une consommation de $\frac{41951}{550} = 76^{k},3$ de vapeur, et si on suppose qu'un cheval-vapeur répond à un consommateur de 25 kilogrammes, on aura $\frac{76,3}{25} = 3^{ch},05$ par heure et par

hectolitre de vinasse traitée ; le n° 12 des rectificateurs Savalle exige 110 chevaux par 200 hectolitres de production journalière, soit en supposant vingt heures de travail effectif, 10 hectolitres de produit par heure ; mais 10 hectolitres d'alcool obtenu représentent $10 + \frac{100}{47}$ de flegme traité, soit 23 hectolitres ; ces 23 hectolitres exigeant 110 chevaux, un hectolitre exige $\frac{110}{23} = 4^c,8$. L'utilisation de la chaleur dans l'appareil sera donc représentée par $\frac{3,05}{4,8} = 0,635$ et les pertes par rayonnement et autres par les 0,365 de la chaleur totale fournie.

1554. Depuis un certain temps, la fabrication de l'esprit de bois ou alcool méthylique a pris une certaine importance ; elle comprend un certain nombre d'opérations ; les produits liquides résultant de la distillation du bois en vase clos étant rassemblés dans un récipient se divisent en trois couches : la couche supérieure est formée d'huiles légères contenant de l'acide acétique ; la couche moyenne est aqueuse, elle contient de l'acide acétique et de l'esprit de bois ; la couche inférieure est formée de goudrons contenant de l'acide acétique.

La couche médiane mise à part subit deux distillations successives ; la première se fait dans un alambic surmonté de trois plateaux Pistorius, d'où les vapeurs se rendent dans un réfrigérant. On obtient ainsi des flegmes à 30° qu'on traite par la chaux et qu'on distille dans un appareil rectificateur composé d'une chaudière chauffée au moyen d'un serpentin à vapeur, d'une colonne d'analyse formée de plateaux Pistorius et d'un réfrigérant ; avec une colonne de sept tronçons de $0^m,50$ de diamètre, on peut produire en une seule opération de l'alcool méthylique à 95°.

Les appareils Savalle sont aussi appliqués avec succès à la distillation de l'alcool méthylique ainsi qu'au fractionnement des benzols pour la fabrication des couleurs d'aniline.

1555. Les appareils employés à la distillation des huiles de pétrole sont, en général, des appareils de distillation simple sur lesquels on trouvera des renseignements très-intéressants dans un mémoire de M. Albert Grand (*Bulletin de la Société des ingénieurs civils*, 1869).

1556. Au point de vue de la conduite des opérations, il est bon de pouvoir déterminer la teneur en alcool des vinasses ou des petites eaux ; on se sert pour cela d'appareils dont le type est l'alambic de

M. Salleron. M. Savalle a perfectionné ces appareils, qui se composent d'une chaudière chauffée au moyen d'un fourneau à gaz ; cette chaudière est surmontée d'une colonne d'analyse des vapeurs et d'un réfrigérant ; on recueille le produit de la distillation dans une éprouvette. Quand il s'agit de liquides très-pauvres en alcool, comme la vinasse, on opère sur 10 litres de liquide et on recueille 100 centimètres cubes de produits distillés ; l'alcoomètre indiquant facilement le $\frac{1}{100}$ d'alcool, on voit qu'on pourra retrouver un centimètre cube d'alcool dans 10 litres de vinasse, soit 0,0001 du volume.

L'appareil a été modifié encore par M. Savalle et établi à *épreuve* continue, il reçoit les vapeurs des vinasses qui sont analysées dans l'appareil et le produit concentré s'écoule dans une éprouvette où plonge constamment un alcoomètre ; on règle l'eau de condensation de façon à ce que l'appareil ne produise que 1 à 2 litres de produit distillé par heure. On reconnaît ainsi facilement si les vinasses sont complétement épuisées et si, par conséquent, il n'y a pas d'alcool perdu.

LIVRE IX

ÉVAPORATION.

1557. La distillation et l'évaporation ont toutes deux pour objet de séparer une ou plusieurs substances volatiles, mêlées ou combinées avec des substances fixes ou seulement moins volatiles ; mais dans la distillation le but est de recueillir les substances volatiles, au lieu que dans l'évaporation on se propose de recueillir les matières fixes ou celles qui sont moins volatiles.

1558. L'évaporation et la distillation ont encore une autre différence essentielle : la distillation ne peut s'effectuer que par l'ébullition et à une température variable seulement avec la pression ; l'évaporation, au contraire, peut être produite sous la même pression à toutes les températures, du moins quand elle a lieu dans des vases ouverts où l'air peut facilement se renouveler. L'évaporation en vase clos est une véritable distillation.

1559. L'évaporation peut s'effectuer dans un grand nombre de circonstances particulières ; elles sont toutes comprises dans la nomenclature suivante :

Évaporation spontanée à l'air libre ;

Évaporation d'un liquide à la température ordinaire par un courant d'air forcé ;

Évaporation en vase ouvert par l'action directe d'un foyer ;

Évaporation d'un liquide chaud, par un courant d'air forcé ;

Évaporation par la vapeur ;

Évaporation dans le vide ;

Évaporation à effets multiples.

Nous examinerons successivement ces différents cas.

CHAPITRE PREMIER

Évaporation spontanée à l'air libre.

1560. Ce mode d'évaporation est principalement employé pour concentrer les dissolutions de sel marin. Examinons d'abord les phé-

nomènes qui l'accompagnent, afin d'en déduire les circonstances les plus avantageuses.

1561. Lorsqu'un liquide est exposé à l'air libre, l'air situé au-dessus de lui se sature de vapeur, il devient plus léger, s'élève, et se trouve bientôt remplacé par de nouvelles couches d'air, qui, après s'être saturées, s'élèvent à leur tour, et ainsi de suite. Il se forme donc deux courants, l'un de couches saturées qui montent, l'autre de couches, dans leur état naturel, qui descendent sur le liquide. Ce mouvement est absolument semblable à celui qui a lieu dans une masse d'air ou d'eau qu'on échauffe par le bas. La quantité de vapeurs que le liquide peut fournir à l'air ambiant est proportionnelle à la différence entre la tension du liquide et celle de la vapeur déjà existante dans l'air. Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, l'évaporation dans le même temps sera d'autant plus grande que le liquide sera plus chaud, et que l'air sera plus éloigné de la saturation. Il est évident que si l'air est déjà saturé de vapeur d'eau, l'évaporation sera nulle ; c'est ce qui arrive toujours après un certain temps, quand l'air qui est au-dessus du liquide ne communique pas librement avec l'atmosphère ; car il a bientôt atteint le point de saturation, et l'évaporation qui, jusqu'à cet instant, est allée continuellement en diminuant, cesse alors complétement.

1562. Si l'air est fortement agité, les couches qui viennent se saturer à la surface du liquide se renouvellent beaucoup plus promptement que si leur mouvement était uniquement dû aux variations de densité ; par conséquent l'évaporation est beaucoup plus rapide. Il est encore évident que l'évaporation n'ayant lieu qu'à la surface même du liquide, tout étant égal d'ailleurs, l'effet produit dans un temps donné croît avec l'étendue de cette surface.

1563. De là nous pouvons conclure que l'évaporation spontanée est d'autant plus active, 1° que la surface libre du liquide est plus étendue ; 2° que la température du liquide et de l'air ou seulement de l'un des deux est plus élevée ; 3° que l'air est plus sec ; 4° que l'air est plus fortement agité.

1564. Dans les appareils d'une grande dimension, on ne peut disposer complétement que d'un seul des éléments précédents, l'étendue de la surface du liquide ; et l'on est obligé de subir l'influence de toutes les variations des autres éléments occasionnées par les changements qui surviennent dans l'état de l'atmosphère ; seulement, on a soin de choisir pour les opérations la saison la plus chaude de l'année et l'exposition la plus favorable. Jusqu'ici on n'a employé

que deux méthodes d'évaporation spontanée, et toutes deux n'ont encore été appliquées qu'à l'extraction du sel marin.

1565. La première consiste à exposer à l'air la dissolution saline dans de grands bassins d'une très-petite profondeur ; le liquide est élevé dans ces bassins par des machines hydrauliques ou par des machines à vapeur. Dans le midi de la France, l'opération commence ordinairement au mois de mars et se termine en septembre. Les bassins sont garnis d'argile et sont ordinairement de deux espèces : les premiers, plus grands et plus profonds que les autres, reçoivent les eaux neuves qui y sont concentrées jusqu'à saturation ; les autres, d'une petite profondeur, reçoivent des premiers les eaux qui y déposent les cristaux.

1566. Le second mode d'évaporation consiste à remplir de fascines un bâtiment à claire-voie en bois, au-dessus duquel on élève les eaux à évaporer, pour les faire tomber à travers les fascines ; l'eau, divisée par les nombreux obstacles qu'elle rencontre dans sa chute, présente une grande surface à l'air, et éprouve, surtout quand l'air est sec et agité, une forte évaporation. Ces appareils portent le nom de *bâtiments de graduation ;* ils ont un grand avantage sur le premier mode d'évaporation, parce qu'ils sont abrités de la pluie, et qu'on ne les met en activité que dans les circonstances favorables.

1567. Dans toutes les évaporations spontanées, la chaleur nécessaire à la vaporisation est fournie par le liquide et par l'air ; l'évaporation ne coûte donc que l'intérêt du capital employé en terrain, bâtiments, machines, le prix de la main-d'œuvre et celui d'une certaine quantité de combustible quand les eaux sont élevées par des machines à vapeur. Le prix de l'évaporation spontanée est beaucoup plus faible que celui de l'évaporation par la chaleur : en effet, d'après M. Payen, le prix de l'extraction de 100 kilogrammes de sel dans les marais salants varie de 0 fr. 60 à 2 fr. 50, suivant la localité et les circonstances atmosphériques qui ont accompagné l'opération ; or, l'eau de la mer renfermant 0,025 de sel marin, pour extraire 100 kilogrammes de sel, il faudrait évaporer 3,900 kilogrammes d'eau, évaporation qui exigerait à peu près 3,900 : 6 = 650 kilogrammes de houille, qui, au prix de 30 francs la tonne, coûteraient 19 fr. 50.

1568. L'évaporation spontanée ne peut pas se produire sur toutes les dissolutions de sels ou d'autres matières solubles dans l'eau, parce qu'il y a un grand nombre de ces substances qui, ayant une grande affinité pour l'eau, ne peuvent la céder à l'air que lorsqu'elles en renferment une grande quantité ; quand elles sont en dissolutions

très-concentrées, non-seulement l'évaporation spontanée n'a plus lieu, mais plusieurs d'entre elles absorbent au contraire l'humidité de l'air. Pour celles-là, il faut nécessairement avoir recours à l'évaporation par la chaleur.

CHAPITRE II

Évaporation d'un liquide à la température ordinaire par un courant d'air forcé.

1569. L'évaporation spontanée des liquides dans l'air atmosphérique augmente, comme nous l'avons vu, à mesure que la surface du liquide est plus étendue, que l'air se renouvelle plus rapidement, et qu'il est plus sec et plus chaud.

1570. La plupart et même la totalité de ces circonstances peuvent être réunies artificiellement : le mouvement de l'air exigerait la dépense d'une force motrice ; la dessiccation de l'air, celle d'une substance très-hygrométrique ; et son échauffement, celle d'un combustible. Je ne crois pas qu'on ait encore fait d'essai sur l'évaporation par un courant d'air forcé, desséché et chauffé. Mais Montgolfier a fait, sur l'évaporation par un courant d'air atmosphérique dans l'état où il se trouve ordinairement, des expériences qui présentent un grand intérêt ; elles ont été rapportées par Clément Désormes, dans un mémoire inséré dans les *Annales de chimie*, tome LXXVI.

1571. Le projet de Montgolfier était de concentrer des marcs de raisin avant leur fermentation, en leur conservant tous les principes fermentescibles, de manière qu'ils pussent être transportés à peu de frais, et convertis partout en vin, en les délayant avec une suffisante quantité d'eau et en les faisant fermenter. Pour satisfaire à ces conditions, il fallait opérer la concentration rapidement, et à une température peu élevée. Le principe de l'appareil de Montgolfier est le même que celui sur lequel sont fondés les bâtiments de graduation dont nous avons parlé ; mais le liquide très-divisé était traversé par un courant d'air produit à l'aide d'une machine. Les premiers essais eurent lieu en 1794 ; Montgolfier fit plusieurs conserves de fruits, entre autres de pommes et de raisins. La première, qui était en grande quantité, car il en avait fabriqué plus de 1500 kilogrammes avait un goût très-agréable. En 1797, il répéta ses expériences à Paris, et il obtint des résultats aussi satisfaisants.

Montgolfier avait reconnu que, dans l'état ordinaire où se trouve l'air en automne, il peut, terme moyen, prendre 3 grammes d'eau par mètre cube. Or un homme, par son travail d'un jour composé de six heures d'un travail effectif, peut donner, à l'aide d'une machine, 5 mètres de vitesse à environ 70,000 mètres cubes d'air. La quantité d'eau qu'il pourra évaporer sera donc $70{,}000 \times 0^{k},003 = 210$ kilogrammes; en supposant que le prix de la journée d'un manœuvre soit de 1 fr. 50, on voit que l'évaporation de 100 kilogrammes d'eau coûterait $\frac{1{,}50}{2{,}10} = 0$ fr. 71. En admettant que le sucre forme un quart du moût de raisin, la concentration de 400 kilogrammes de sirop exigerait une dépense de 2 fr. 10. On pourrait d'ailleurs réduire beaucoup cette dépense en diminuant la vitesse de l'air; car on sait que la force vive, qui est réellement celle que l'on consomme et que l'on paye, croît comme le carré de la vitesse; ainsi, en diminuant la vitesse de moitié, il serait possible de quadrupler, avec le même travail, la masse d'air mise en mouvement.

1572. On pourrait employer un grand nombre d'appareils différents pour produire le courant d'air qui doit traverser le liquide; le plus simple est le ventilateur à force centrifuge. Clément avait imaginé pour évaporer les jus un appareil dans lequel on les faisait couler sur des baguettes de bois blanc écorcées, disposées en lits réguliers, alternativement croisées dans une caisse qui était traversée par un courant d'air obtenu au moyen d'un ventilateur mû à la main. L'appareil était mal disposé et n'a pu être d'aucun emploi pratique. On obtiendrait un bien plus grand effet en desséchant l'air par la chaux ou en le chauffant à une température comprise entre 50 et 100°, température qui, dans tous les cas, ne serait pas de nature à altérer les jus, d'autant plus qu'une grande partie de la chaleur de l'air serait employée à former de la vapeur, et non à chauffer le liquide. On pourrait même sans inconvénient élever la température du liquide, et remplacer le travail mécanique par une cheminée d'appel dans laquelle le tirage serait produit par la chaleur qui n'aurait pas été utilisée dans le chauffage du liquide et de l'air. Nous reviendrons plus tard sur cet objet.

CHAPITRE III

Évaporation en vases ouverts par l'action directe d'un foyer.

1573. On exécute toutes les évaporations à l'air libre par la chaleur, en plaçant la chaudière qui contient le liquide à évaporer sur un foyer, ou en l'exposant à un courant d'air chaud. Lorsqu'un liquide est en contact avec l'air, l'évaporation se manifeste en général avant même que le liquide commence à s'échauffer, car nous savons que les liquides émettent des vapeurs à toutes les températures ; mais cette évaporation est extrêmement faible. A mesure que le liquide s'échauffe, l'évaporation va en croissant, et une partie de la chaleur reçue par le liquide se perd par cette évaporation ; par conséquent la température du liquide croît beaucoup plus lentement que si la chaudière était fermée. Il peut même arriver que le liquide n'atteigne jamais la température de l'ébullition ; en effet, si la surface du liquide exposée à l'air est très-grande relativement à la quantité de combustible brûlé, l'évaporation, qui est proportionnelle à la surface, pourra, à une certaine température du liquide, emporter une quantité de chaleur égale à celle que le liquide reçoit du foyer, et par conséquent la température du liquide deviendra constante.

1574. Dans tous les cas, que le liquide atteigne ou n'atteigne pas la température de l'ébullition, on admet assez généralement que la quantité de chaleur nécessaire à l'évaporation est la même ; cependant il n'en est point ainsi : cette quantité augmente rapidement à mesure que la température est moins élevée, à cause de la chaleur perdue par l'échauffement de l'air et par le rayonnement. La première perte augmente avec l'abaissement de température, parce que le volume d'air nécessaire pour dissoudre un poids donné de vapeur augmente rapidement à mesure que la température est plus basse ; et on peut facilement la calculer (ces calculs seront faits quand il sera question du séchage par l'air chaud) ; quant à la perte par le rayonnement, on ne peut rien calculer, attendu que, lorsque l'évaporation est très-vive, les vapeurs condensées dans l'air, et dont la température diffère peu de celle du liquide, doivent, en rayonnant sur le liquide lui-même, réduire cette perte à bien peu de chose.

1575. Pour déterminer les quantités de chaleur employées pour vaporiser de l'eau à différentes températures, j'ai fait les expériences

que je vais rapporter. J'ai suspendu à une balance très-sensible un vase cylindrique en fer-blanc de $0^m,30$ de diamètre, de $0^m,05$ de profondeur, placé dans un autre d'un plus grand diamètre et d'une plus grande hauteur ; le premier était soutenu dans le second par trois bouchons de liége, et l'intervalle des deux vases était rempli de coton cardé ; le vase intérieur a été rempli d'eau chaude, et j'ai observé le refroidissement que cette eau a éprouvé par des pertes de poids successives de 10 grammes. Les températures observées ont été les suivantes :

58°25 55°25 52°00 48°50 44°75 40°75 36°25 31°25.

Ainsi les abaissements de température correspondant à des diminutions de poids de 10 grammes ont été de :

3° 3°25 3°50 3°75 4° 4°50 5.

Comme le refroidissement du vase par la surface inférieure et les surfaces latérales pouvait être négligé, et que le poids de l'eau chaude était au premier instant de $2^k,413$, on trouve par un calcul très-simple que les quantités de chaleur absorbée pour évaporer 1 kilogramme d'eau, ont été,

de 58°25	à 55°25,	de 724	unités
55°25	52°00,	780	—
52°00	48°50,	837	—
48°50	44°75,	893	—
44°75	40°75,	949	—
40°75	36°25,	1063	—
36°25	31°25,	1176	—

La température extérieure était de 15°. Ainsi, comme nous l'avons dit, la quantité de chaleur absorbée pour la vaporisation de 1 kilogramme de liquide augmente rapidement à mesure que la température du liquide s'abaisse. Des expériences faites sur une grande échelle confirment parfaitement ce fait.

En prenant les températures moyennes des expériences et traçant une courbe, on trouve que, l'air étant à 15°, les quantités de chaleur absorbées par l'évaporation de 1 kilogramme d'eau, le liquide étant à

20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°

sont représentées approximativement par les nombres

1370 1160 1070 840 760 720 690 660.

1576. *Disposition des appareils.* — Les appareils dont on se sert pour évaporer des dissolutions dans des vases ouverts, sont disposés d'une manière analogue à ceux qu'on emploie pour la vaporisation, seulement la chaudière est ouverte. Le foyer est placé à une extrémité de la chaudière et au-dessous, et l'air brûlé circule sous le reste de la chaudière dans des carneaux qui l'obligent à en parcourir toute l'étendue. La quantité de combustible à brûler, pour produire dans un temps donné un effet déterminé, doit se calculer en comptant que la vaporisation de 1 kilogramme d'eau absorbe des quantités de chaleur correspondant à celles que nous venons d'indiquer. Mais on doit employer des surfaces de chauffe beaucoup plus grandes que pour la vaporisation, attendu que l'on peut refroidir beaucoup plus la fumée; mais il faut alors avoir des cheminées d'une plus grande section, afin de vaincre le frottement qui résulte de l'allongement des carneaux. Ordinairement on place à la suite les unes des autres plusieurs chaudières, dans lesquelles le liquide prend des températures décroissantes, et qui sont souvent disposées de manière à amener le liquide d'une chaudière dans celle qui la précède.

1577. Il n'y a jamais économie de combustible à donner aux chaudières une grande profondeur ; car si l'évaporation a lieu à la température de l'ébullition, la quantité de vapeur produite dépend uniquement, pour la même consommation de combustible, de l'étendue de la surface de la chaudière exposée à l'action directe du foyer ou à celle du courant d'air brûlé ; et quand l'évaporation a lieu à une température inférieure à celle de l'ébullition, la quantité de vapeur produite dépend de la quantité de chaleur qui pénètre dans la chaudière et de la température de l'évaporation, température qui dépend elle-même de l'étendue de la surface libre du liquide. Ainsi, la masse du liquide n'a jamais d'influence.

Dans le dernier cas, une grande profondeur des chaudières a l'avantage d'atténuer les différences de température qui proviennent des variations d'intensité du foyer ; mais la permanence de température est rarement importante.

1578. Quand l'évaporation a lieu à la température de l'ébullition, l'étendue de la surface libre du liquide n'a, comme nous l'avons dit, aucune influence sur l'évaporation ; il se forme autant de vapeur pour la même consommation de combustible quand la chaudière est complétement ouverte, que lorsqu'elle est fermée de manière à ne laisser qu'une petite ouverture pour le dégagement de la vapeur. Cependant, si le couvercle était fixé sur la chaudière, l'ouverture de dégagement

devrait avoir des dimensions suffisantes pour que la pression de la vapeur dépassât peu celle de l'atmosphère. Ainsi, lorsque le contact de l'air est nuisible au liquide soumis à l'évaporation, on peut, afin de s'opposer au renouvellement de l'air, fermer la chaudière de manière à ne laisser qu'une issue suffisante à la vapeur.

On pourrait penser cependant que dans les chaudières complétement ouvertes, il doit y avoir une perte de chaleur due au rayonnement de la surface du liquide bouillant; mais cette perte, comme nous l'avons déjà remarqué, doit être très-faible; car elle est sensiblement compensée par le rayonnement de la vapeur qui se trouve au-dessus de la surface et qui passe immédiatement à l'état vésiculaire. Dans les chaudières fermées, il y a, au contraire, une perte de chaleur très-grande par le refroidissement de la partie supérieure; cette perte peut s'estimer à $1^k,50$ de vapeur par mètre carré et par heure : ainsi il sera toujours utile de recouvrir cette partie de la chaudière avec des matières peu conductrices.

1579. La forme des chaudières, l'étendue de leur surface et la nature du métal dépendent nécessairement de la nature du liquide qui doit être évaporé; ainsi, il est impossible de rien dire de général à cet égard. Mais il sera toujours facile, d'après ce qui précède, et en se rappelant les détails que nous avons donnés dans le livre consacré à la vaporisation, de déterminer, dans chaque cas particulier, les dimensions des chaudières et les dispositions les plus avantageuses. Nous allons passer en revue les appareils qui sont le plus fréquemment employés.

1580. Dans les salines, on se sert de chaudières de très-grandes dimensions, chauffées seulement à la partie inférieure. A Dieuze, on avait quatre chaudières rectangulaires et de mêmes dimensions, formées de plaques de tôle de $0^m,004$ d'épaisseur, et de $0^m,50$ de côté, dont les bords étaient recourbés en dessous à angle droit et assemblés entre eux par des boulons; les joints étaient faits au mastic de fonte. Ces chaudières, de 25 mètres de longueur sur 5 mètres de largeur, étaient élevées de $1^m,35$, soutenues par des piliers en fonte et recouvertes d'une vaste hotte en planches conduisant les vapeurs dans une cheminée aussi en planches; la fumée s'étendait librement sous les chaudières sans rencontrer d'obstacles. Chaque foyer brûlait 2,500 kilogrammes de houille par quarante-huit heures, soit 52 kilogrammes par heure et $0^k,46$ par décimètre carré de grille. Chaque mètre carré de surface de chauffe produisait 28 kilogrammes de vapeur. La température de la fumée, à son entrée dans la che-

minée, était de 100°; l'effet utile était de $7^k,50$ d'eau évaporée par kilogramme de houille.

Une autre chaudière, de 16 mètres de longueur sur 7 mètres de largeur, fonctionnant de la même manière que les quatre dont nous venons de parler, a donné les mêmes résultats; une autre, de $27^m,5$ de longueur sur 7 mètres de largeur, produisait un moindre effet utile.

Les résultats qu'on obtient, en opérant à la température de l'ébullition ou à une température inférieure, sont très-différents. A l'ébullition, on emploie 36 à 38 kilogrammes de houille pour obtenir 100 kilogrammes de sel; à une température inférieure, il en faut de 42 à 44. La différence provient de la chaleur absorbée par l'air et du rayonnement de la surface liquide.

Malgré la grande étendue des chaudières, la température n'y est pas très-différente au-dessus du foyer et à l'autre extrémité; car, quand on ne porte pas le liquide à l'ébullition, elle est, au-dessus du foyer, de 80°, et de 50° à 60° à l'autre extrémité.

1581. Les figures 342 et 343 représentent deux coupes verticales d'une chaudière d'évaporation; l'air chaud, en sortant du foyer, s'é-

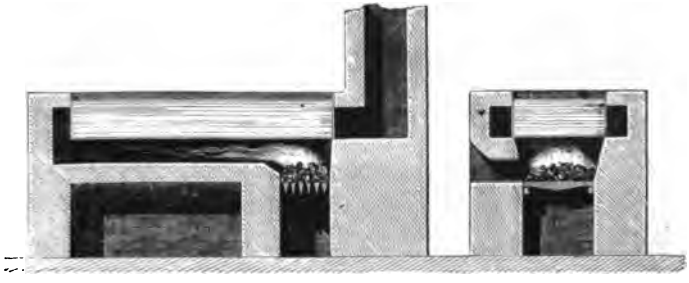


Fig. 342. *Fig.* 343.

tend sous la chaudière et revient simultanément des deux côtés en parcourant les faces latérales pour se rendre dans la cheminée. Si le foyer était placé à l'autre bout, le courant d'air chaud devrait parcourir successivement les faces de la chaudière.

Les chaudières ordinairement employées pour la concentration de l'acide sulfurique sont en plomb; elles reposent sur des plaques de fonte jointives, qui reçoivent d'abord l'action de la chaleur; les fonds seuls des chaudières sont chauffés, et l'air chaud y est chicané par des cloisons transversales en briques. Cette disposition ne présente aucun avantage et a l'inconvénient de diminuer beaucoup le

tirage ; il serait plus avantageux de supprimer complétement ces cloisons, mais en disposant l'orifice de sortie de la fumée de façon que son bord supérieur fût un peu au-dessous du fond de la chaudière, de manière à y former une couche permanente d'air chaud ; le chauffage serait ainsi plus uniforme. Avec ces sortes de chaudières, on donne souvent aux grilles de très-grandes surfaces, afin d'avoir des feux languissants qui ne puissent pas les altérer. Elles sont aussi souvent chauffées au moyen de la chaleur perdue des fours à pyrites.

1582. Quand les liquides à évaporer produisent des dépôts dont l'accumulation pourrait nuire à la conservation des chaudières, on donne quelquefois à celles-ci une forme conique (*fig.* 344). On suspend avec des chaînes, et à une petite distance du fond, un vase métallique percé d'un grand nombre de petits trous ; le mouvement du liquide étant beaucoup plus faible dans le vase, les dépôts s'y rassemblent et peuvent être extraits facilement en enlevant le vase.

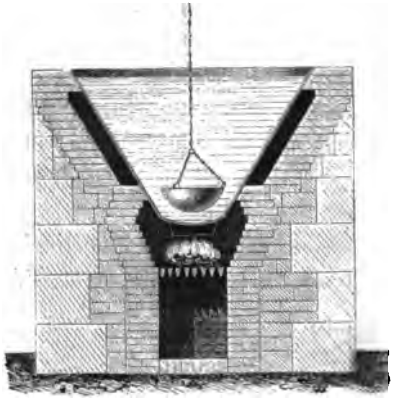


Fig. 344.

1583. Si les matières qui se déposent formaient des masses considérables, la disposition précédente ne suffirait pas et les matières qui se précipiteraient au fond de la chaudière, recevant l'action directe du foyer, pourraient la faire brûler. Dans ce cas, il serait préférable d'employer d'autres dispositions.

1584. La figure 345 représente une de ces dispositions. Le fond de la chaudière est ondulé, et la partie supérieure des ondulations est

Fig. 345.

seule chauffée ; les carneaux suivent ces ondulations, pour que la

fumée s'étende sur toute la surface de chauffe ; ils communiquent entre eux dans l'épaisseur de la maçonnerie enveloppante.

Dans la chaudière dont la figure 346 représente une coupe verticale, le foyer et les carneaux sont intérieurs, et les dépôts s'accumulent aussi à la partie inférieure qui n'est pas chauffée par les gaz. Quand des dépôts doivent se former sur des points de la chaudière chauffée par le gaz, il est bon que la chaudière présente une surface courbe en ces points ; les dépôts peuvent, en effet, se détacher plus facilement dans ce cas que dans celui d'angles formés par des surfaces planes ; on évite ainsi plus facilement la brûlure de la chaudière.

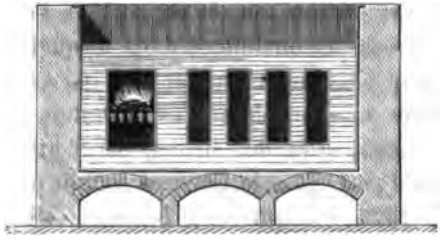


Fig. 346.

1585. Lorsque l'évaporation doit avoir lieu à une température élevée, comme celle des dissolutions de carbonate de soude, on emploie une série de chaudières, placées les unes au-dessus des autres (*fig.* 347). La première, qui est placée au-dessus du foyer, à nu ou

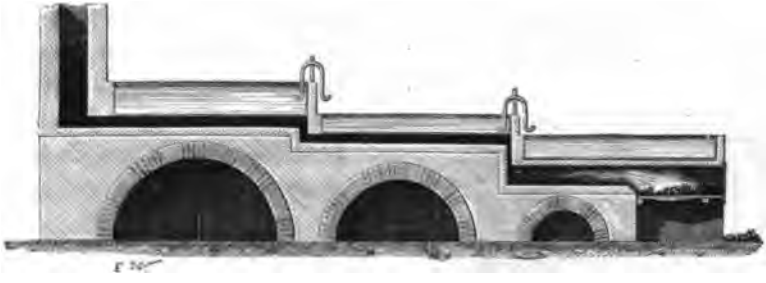


Fig. 347.

sur une voûte en briques, est destinée à produire ou à terminer l'évaporation ; les autres, à la commencer, ou du moins à chauffer le liquide. Chaque chaudière doit alimenter la suivante ; et, pour cela, elle est munie d'un robinet, ou, ce qui vaut mieux, d'un siphon toujours amorcé qui fonctionne quand on le descend, et qui cesse de faire écouler le liquide lorsqu'on le relève. La disposition la plus simple de ces siphons consiste en un tube à deux branches égales parallèles, et dont les extrémités sont recourbées ; il est évident que

le tube étant plein de liquide, et les extrémités étant à la même hauteur, il restera plein; mais si l'on fait plonger une des branches dans un des vases, la colonne se trouvant raccourcie, le liquide s'écoulera par l'autre branche.

1586. Dans ce qui précède, nous avons principalement considéré l'évaporation sous le rapport de l'économie du combustible; mais il est des circonstances dans lesquelles le temps est un élément beaucoup plus important, et où il est avantageux de sacrifier du combustible pour accélérer l'évaporation. Tel est, par exemple, le cas de la concentration des sirops, parce que le sucre est d'autant plus altéré qu'il reste plus longtemps soumis à l'action de la chaleur.

1587. *Chaudières à bascule.* — Les appareils qu'on a longtemps employés pour la concentration des sirops consistaient uniquement en des chaudières peu profondes; dans lesquelles on plaçait le sirop, et que l'on chauffait directement par un foyer très-actif, dont la fumée ne circulait pas autour de la chaudière : cette disposition, très-vicieuse sous le rapport de l'économie du combustible, l'était encore davantage par l'altération que le sirop éprouvait souvent; car, l'évaporation étant très-rapide, si le vase restait sur le feu après que le sirop avait atteint le degré convenable de concentration, ce dernier s'altérait, et l'on obtenait moins de sucre blanc et plus de mélasse.

On a complétement évité cet inconvénient, au moyen des chaudières à bascule, que l'on peut soulever et vider à l'instant précis où la concentration est arrivée à son terme. Cet appareil est composé (*fig.* 348) d'une chaudière plate A, garnie d'un large goulot un peu relevé, qui déborde le fourneau et au-dessous duquel se trouve un grand vase de cuivre C, nommé rafraîchissoir, où le sirop cuit est recueilli et commence à grener; au-dessus de la chaudière se trouve un réservoir D renfermant du sirop destiné à alimenter la chaudière de cuite; une chaîne E, fixée à la chaudière, et qui passe sur deux poulies, permet de la faire basculer et de la vider dans le rafraîchissoir; le réservoir alimentaire est terminé par un tuyau fermé en

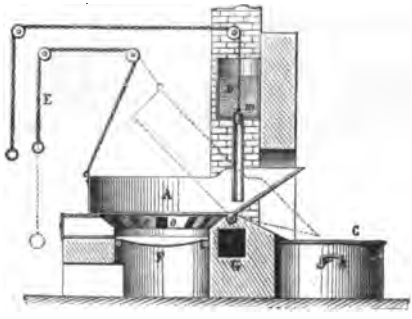


Fig. 348.

dedans par une soupape *m* que l'on peut ouvrir de même au moyen d'une chaîne. La grille du foyer a une très-grande surface relativement au fond de la chaudière, et la fumée se dégage par des orifices nombreux *o*, *o*, *o*... placés latéralement, et débouchant dans un carneau circulaire G, qui communique avec deux cheminées. Lorsque le sirop est arrivé au point convenable, un ouvrier fait basculer la chaudière au moyen de la chaîne E ; elle se vide très-promptement dans le rafraîchissoir, et pendant tout le temps de cette opération elle est soustraite à l'action du foyer. Aussitôt que le sirop cuit est écoulé, on ouvre la soupape du réservoir, et la chaudière remise en place se trouve presque aussitôt remplie. Dans ce mode d'opération, on peut mettre peu de sirop à la fois dans les chaudières, et multiplier les cuites, ce qui est très-avantageux ; car l'action prolongée de la chaleur et de l'air nuit beaucoup à la qualité du sirop. On conçoit facilement qu'en multipliant les cuites, leur durée diminue, et par conséquent que chaque portion de sirop reste moins longtemps exposée à l'action de la chaleur et de l'air.

Mais ce mode d'opération exige une dépense énorme de combustible, car le foyer a une très-grande étendue, et l'air chaud arrive dans la cheminée à une température extrêmement élevée. On emploie maintenant exclusivement les différents appareils à vapeur dont nous parlerons plus loin : ils sont plus avantageux que les chaudières à bascule, sous le rapport de la conservation du sucre, et ils utilisent beaucoup mieux le combustible.

1588. *Appareils destinés à évacuer les vapeurs.* — Dans les usines où l'évaporation se fait sur une grande échelle, l'énorme quantité de vapeur d'eau qui se répand dans les ateliers et qui s'y condense en partie, est souvent très-incommode, et, en saturant l'air, empêche l'évaporation à une température inférieure à celle de l'ébullition. On a imaginé, pour s'en débarrasser, une disposition très-simple : la chaudière est recouverte d'un dôme ordinairement en planches, ouvert en avant et terminé à l'extrémité de la chaudière par un tuyau vertical qui pénètre dans la cheminée à une certaine hauteur, mais seulement sur une partie de sa largeur ; le courant d'air, que détermine au-dessus des chaudières la force ascensionnelle de la fumée, entraîne les vapeurs, qui, par conséquent, ne peuvent pas se répandre dans l'atelier. Mais cette disposition, malgré un grand accroissement de la section de la cheminée, peut nuire au tirage ; pour qu'il n'en soit pas ainsi, il faut donner au foyer une cheminée à grande section communiquant avec l'enveloppe de la chaudière ; la cheminée du

foyer pourrait ne s'élever qu'à 8 à 10 mètres ; au delà la fumée et l'air chargé de vapeurs seraient mêlés. Quelquefois on se borne à environner la chaudière d'une espèce de hotte analogue à celle des foyers de cuisine, ouverte par trois côtés, et communiquant de même avec une cheminée qui enveloppe celle du foyer. Mais cette disposition est moins bonne que la précédente, parce qu'il y a trop d'air appelé, et qu'une partie des vapeurs peut encore se répandre dans l'atelier. Dans l'une et dans l'autre disposition, dans la dernière surtout, il est nécessaire que des ouvertures d'une surface suffisante permettent l'accès, dans l'atelier, du volume d'air qu'exige la cheminée d'appel.

1589. Enfin, on pourrait se borner à faire évacuer l'air mêlé de vapeurs par une cheminée spéciale d'une grande section ; pourtant, si le mélange se refroidissait assez dans la cheminée pour condenser une partie des vapeurs, ces vapeurs condensées, suspendues dans l'air, pourraient lui donner, malgré son élévation de température, une densité plus grande que celle de l'air environnant, et le mouvement ascensionnel du mélange d'eau et de vapeur n'aurait pas lieu, malgré des ouvertures suffisantes d'accès de l'air dans l'atelier ; mais presque toujours la chaleur dégagée par la condensation des vapeurs est suffisante pour conserver au mélange une certaine force ascensionnelle.

1590. Il est évident que, si l'évaporation avait lieu à la température de l'ébullition, la chaudière étant fermée, un simple tuyau, communiquant avec la chaudière et s'ouvrant à l'extérieur, suffirait à l'évacuation des vapeurs, quelle que fût d'ailleurs sa direction.

1591. Pour évacuer les vapeurs par la cheminée du foyer sans nuire au tirage, on a proposé d'alimenter le foyer par l'air qui s'est chargé de vapeur d'eau en passant sur la chaudière. Celle-ci est alors garnie d'un couvercle un peu élevé, ouvert en avant, par lequel l'air extérieur s'introduit sur le liquide ; l'air descend ensuite par un canal vertical, pénètre dans le cendrier et passe dans le foyer, sous la chaudière et dans la cheminée. Cette disposition a le grand inconvénient de faire traverser le foyer par un volume d'air beaucoup plus considérable que celui qui est nécessaire pour la combustion ; en effet, pour brûler 1 kilogramme de houille (304 *bis*), il faut au plus 18 mètres cubes d'air froid ; or, en admettant que chaque kilogramme de houille évapore 6 kilogrammes d'eau, et que l'évaporation ait lieu à 50°, comme à cette température il faut $11^{mc},72$ d'air à 0° pour enlever la vapeur de 1 kilogramme d'eau, le volume de l'air appelé

dans le foyer, réduit à 0°, serait de $6 \times 11,72 = 70^{mc},32$. Il y aurait encore beaucoup plus d'air en excès, si l'évaporation avait lieu à une plus basse température. D'ailleurs, la grande quantité de vapeurs que renfermerait l'air en pénétrant dans le foyer serait une circonstance très-défavorable à une bonne combustion, et occasionnerait une grande perte d'effet utile.

CHAPITRE IV

Évaporation d'un liquide chaud, par un courant d'air forcé froid ou chaud.

1592. Dans ce mode d'évaporation, on peut employer deux méthodes différentes : on peut faire passer l'air en lames minces sur le liquide, ou bien en très-petites bulles à travers le liquide ; et, dans l'un et l'autre cas, on peut chauffer le liquide ou l'air, ou tous les deux.

1593. La disposition la plus simple pour évaporer un liquide chaud par un courant d'air forcé froid, est représentée dans les figures 349

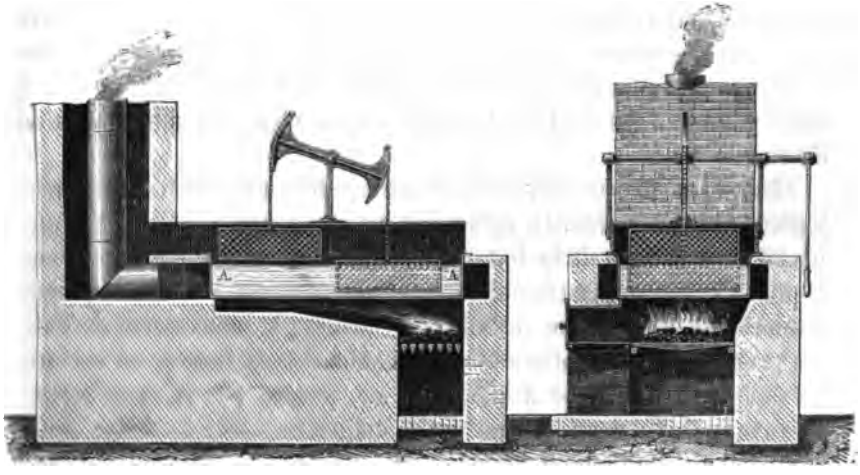


Fig. 349. *Fig.* 350.

et 350. AA est une chaudière rectangulaire, fermée à la partie supérieure et latéralement par des planches ou des plaques métalliques, l'espace compris entre le niveau du liquide et la plaque supérieure

est ouvert en avant et communique par l'extrémité opposée avec une large cheminée ; le foyer chauffe directement la partie inférieure de la chaudière par rayonnement, et les parois latérales par le courant de fumée qui se rend ensuite par un tuyau de tôle dans la cheminée d'appel. Entre le niveau du liquide et la paroi supérieure de l'encaissement, se trouvent deux systèmes de toiles parallèles, de métal ou de chanvre, tendues et très-voisines les unes des autres ; ces deux systèmes de toiles sont fixés aux deux extrémités d'un balancier extérieur, de manière que, lorsque l'un est au-dessus du niveau, l'autre plonge dans le liquide. Par cette disposition, l'air est obligé de passer entre des lames mouillées très-rapprochées, et dont on renouvelle le liquide aussi souvent que cela est nécessaire. Cet appareil, peu pratique, n'est pas employé.

1594. On a proposé, dans le même but, d'employer une chaudière cylindrique horizontale, communiquant par la partie supérieure de l'un des fonds avec l'air, par la partie supérieure de l'autre avec une cheminée et renfermant un serpentin de même axe que la chaudière, animé d'un mouvement de rotation, plongeant par sa partie inférieure dans le liquide à évaporer et parcouru par un courant de vapeur à haute pression. Dans cette disposition, le liquide de la chaudière et celui qui mouille les surfaces du serpentin sont en ébullition, et l'appareil ne sert réellement qu'à évacuer les vapeurs ; il ne rentrerait dans le cas que nous considérons qu'autant que la vapeur n'échaufferait le liquide qu'à une température inférieure à son ébullition ; mais alors l'appareil que je viens de décrire serait bien préférable, à cause de sa simplicité.

1595. Les figures 351 et 352 représentent une disposition analogue à cette dernière. La figure 351 est une coupe verticale de l'appareil dans le sens de la longueur, et la seconde une coupe suivant le plan XY. Les nappes mouillées sont placées autour d'un axe qui est animé d'un mouvement de rotation continu ; le mouvement de l'air est produit par un ventilateur, et la chaleur de la fumée, en sortant du foyer, est employée à chauffer l'air poussé par le ventilateur. A, foyer ; B, carneau à l'extrémité duquel la fumée se divise pour chauffer simultanément les deux faces de la chaudière ; D, caisse renfermant un grand nombre de tubes horizontaux, à travers lesquels s'échappe l'air lancé par le ventilateur E ; la fumée circule autour des tuyaux pour se rendre dans la cheminée F ; G, chaudière dans laquelle plongent des toiles fixées autour de l'axe métallique HH, de manière à former plusieurs surfaces prismatiques concentriques ; I,

cheminée d'écoulement de l'air chargé de vapeurs. Le ventilateur et la poulie K sont mis en mouvement par un moteur quelconque.

On a employé, aux colonies, des chaudières de ce genre, mais sans soufflage ; c'est l'air appelé par le tirage du foyer qui circulait dans la chaudière autour de la cage mobile ; celle-ci se composait de baguettes en bois fixées sur trois ou quatre cercles posés sur l'arbre de rotation.

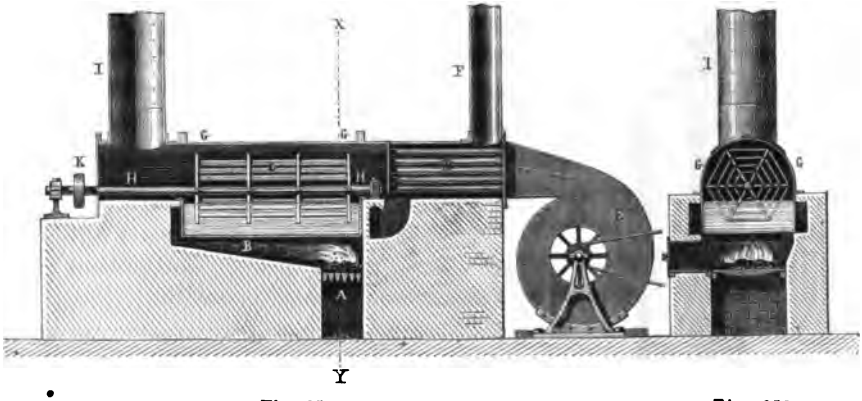


Fig. 351. *Fig.* 352.

On pourrait aussi placer sur l'axe de rotation, et perpendiculairement à sa direction, des toiles métalliques circulaires à mailles très-larges, que le mouvement imprégnerait sans cesse de nouveau liquide, et que le courant d'air serait obligé de traverser ; mais ce courant éprouverait plus de résistance, et le contact de l'air et du liquide n'aurait lieu que sur une plus petite étendue.

1596. Dans la disposition précédente, il serait plus avantageux, pour la facilité du nettoyage des toiles métalliques, d'employer les toiles planes et parallèles indiquées (1593). Il serait aussi préférable de placer les tubes de chauffage de l'air dans une enveloppe cylindrique verticale ; les tubes s'ouvriraient à chaque extrémité dans une caisse ; celle d'en bas recevrait l'air du ventilateur, et celle d'en haut verserait l'air chaud dans la chaudière ; la fumée arriverait autour des tubes par la partie supérieure et s'écoulerait dans la cheminée par la partie inférieure : on utiliserait ainsi beaucoup mieux la chaleur des gaz.

Au moyen de ces appareils, on peut évaporer rapidement un liquide par un courant d'air à une température donnée, en chauffant seulement le liquide ou l'air, ou tous les deux. Ces dispositions seraient

bien préférables à celle dont nous avons parlé (1572). Elles seraient surtout applicables à la concentration des sucs qui ne peuvent pas, sans altération, ou au moins sans perdre de leur arome, supporter une température élevée.

1597. La figure 353 représente la disposition d'un autre appareil d'évaporation à courant d'air. A est un vase cylindrique vertical fermé par les deux bouts, dans lequel on peut introduire de la vapeur par le tuyau *a*; *b* est un tube pour l'évacuation de l'air, et *c* le tuyau de retour d'eau; le vase est recouvert extérieurement de toiles métalliques. Le liquide à évaporer est amené d'une manière continue par le tube *d*; il arrive dans un vase *e*, percé sur le fond de très-petits trous, et dans lequel restent les matières que le liquide pouvait tenir en suspension; de là il tombe dans un vase garni d'orifices à sa circonférence, et qui le distribue uniformément sur la toile métallique; le liquide concentré se réunit dans la rigole annulaire *gg*, d'où il s'écoule par le tube *h*. Le cylindre A est environné du cylindre B d'un plus grand diamètre et beaucoup plus haut, par le bas duquel entre le courant d'air, poussé par un ventilateur ou aspiré simplement par l'effet de la chaleur. La gouttière annulaire *kk* reçoit l'eau qui se condense contre la surface intérieure du cylindre enveloppant. Cette disposition, imaginée pour la concentration des sirops par la vapeur perdue des machines, n'a été que rarement employée; elle a plusieurs graves inconvénients, et notamment celui de ne pas permettre de nettoyer facilement la toile métallique. Il est évident que, si la vapeur qui arrive dans le cylindre A était à haute pression, l'appareil ne servirait qu'à évacuer les vapeurs.

Fig. 353.

1598. *Appareils de concentration par l'air chaud introduit dans le liquide.* — Ce mode d'évaporation, proposé, en 1812, par Parmentier, se trouve décrit dans un ouvrage intitulé : *Nouvel Aperçu des résultats obtenus de la fabrication des sirops et conserves de raisins dans le cours de l'année* 1812. Cet appareil consistait en un soufflet de forge, dont la tuyère communiquait avec un vase lenticu-

faire percé d'un grand nombre de petits trous et plongé dans le liquide à évaporer. Depuis, plusieurs personnes ont pris des brevets d'invention pour le même sujet ; un de ceux qui ont été appliqués est celui de M. Brame-Chevalier. Le principe de l'appareil est représenté figure 354. AA' est un générateur à vapeur ; il renferme un

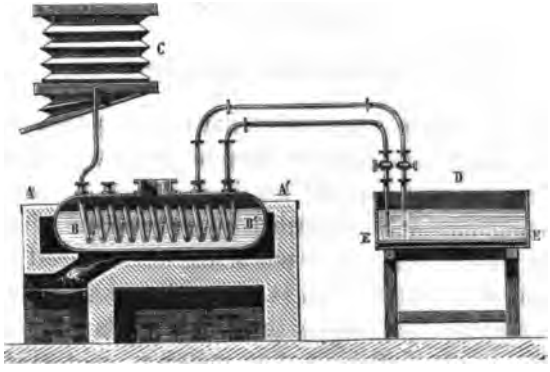


Fig. 354.

serpentin BB' communiquant par une extrémité avec un soufflet C, et par l'autre avec l'espace qui se trouve au-dessous d'un plateau horizontal percé d'un grand nombre de petits trous et placé dans la chaudière de concentration D, à une petite distance du fond. Le générateur fournit de la vapeur à une grille EE' plongée dans le sirop, et qui est destinée à en élever la température. Voici le résultat d'une expérience rapportée par M. Brame-Chevalier. La chaudière de cuite ayant été chargée de 50 kilogrammes de sirop clarifié à 36° du pèse-sirop, la pression de la vapeur étant de 1 atm. $\frac{1}{2}$, l'opération, par l'action seule de la vapeur, a été terminée en 56' ; la température du sirop était de 85° au commencement, et de 93° à la fin. Dans une autre expérience, dans laquelle on a fait passer de l'air à travers le sirop l'opération a été terminée en 28', et la température du sirop a varié de 70° à 72°.

M. Brame-Chevalier a monté sur une grande échelle des appareils destinés aux raffineries de sucre et aux fabriques de sucre de betterave. Ces appareils se composaient d'une machine soufflante destinée à comprimer l'air, d'un appareil pour le chauffer, et des chaudières de cuite, dont le sirop était chauffé à la vapeur et traversé par l'air chaud qu'on y injectait. Les appareils de M. Brame-Chevalier, quoique très-bien disposés et très-bien exécutés, ont complétement dis-

paru de l'industrie, parce qu'ils sont trop compliqués et d'un prix trop élevé, qu'ils consomment plus de combustible que les appareils qui évaporent dans le vide, et enfin parce que le sirop, à cause de sa viscosité, retient une grande quantité d'air qui nuit à la cristallisation.

CHAPITRE V

Évaporation directe par l'air brûlé.

1599. Si les matières renfermées dans les liquides doivent être calcinées, on emploie la chaleur directe des foyers pour effectuer cette dernière opération, quand les dissolutions ont été amenées à un point convenable de concentration ; c'est ce qui s'effectue dans la fabrication du carbonate de soude artificiel. On extrait maintenant, par l'évaporation, la potasse qui se trouve dans les résidus de la distillation des liqueurs alcooliques provenant de la fermentation des mélasses de sucre de betterave. Les mélasses sont étendues d'une quantité d'eau suffisante pour que la densité du liquide devienne égale à 1,060 environ, on y ajoute ensuite, pour 100 kilogrammes de mélasse à 40° Baumé, $1^k,5$ d'acide sulfurique à 66° et $1^k,5$ de levûre de bière pressée. On abandonne le mélange à la fermentation à une température de 20°. Après la distillation, les vinasses, en sortant de l'alambic, sont soumises à l'évaporation dans des chaudières en cuivre renfermant des serpentins parcourus par de la vapeur à haute pression, jusqu'à ce que le liquide marque 20° à l'aréomètre Baumé, après quoi l'évaporation et la calcination s'opèrent dans des fours à réverbère. On recueille ordinairement 27 à 28 kilogrammes de salin brut par mètre cube de vinasse. Ce salin présente une composition variable suivant les provenances, et que nous indiquons dans le tableau suivant :

	ALLEMAGNE.	PUY-DE-DOME.	DÉPARTEMENT DE L'AISNE.	DÉPARTEMENT DU NORD.
Carbonate de potasse.....	43.71	55.82	45.30	30.37
Carbonate de soude.....	14.20	5.54	13.86	21.49
Chlorure de potassium.....	15.52	8.85	17.02	19.31
Sulfate de potasse.....	8.05	17.59	8.00	10.91
Eau, charbon, matière insoluble.....	18.52	15.28	15.82	17.92
	100.00	100.00	100.00	100.00

1600. Le mode de concentration des dissolutions de soude et des dissolutions de potasse pourrait être considérablement amélioré, sous le rapport de l'économie du combustible, en employant la disposition suivante. A la suite du fourneau à réverbère destiné à la calcination des matières se trouverait une chaudière rectangulaire, disposée comme dans les figures 349 et 350, dont le fond serait un peu au-dessus de la sole du four, et dont toutes les faces seraient revêtues de maçonnerie, de manière que le liquide ne fût échauffé que par l'air chaud qui passerait dans l'intervalle des lames de toiles métalliques ; il est évident que l'air brûlé pourrait n'être abandonné qu'à la température de la vaporisation du liquide, et que le liquide concentré pourrait arriver directement dans le four à réverbère. Dans ce mode d'opération, en supposant qu'on emploie 18 mètres cubes d'air pour brûler 1 kilogramme de houille, le volume de gaz qui se dégagerait à 100° serait de $23^{mc},4$; la chaleur entraînée par l'air serait égale à $18.1,3.0,24.100 = 561$ calories ; la chaleur employée à la vaporisation serait alors $8000 - 561 = 7439$ calories, ce qui correspond à peu près à $11^{k},4$ d'eau évaporée, dont le volume serait égal à $11,4 . 1,7 = 19^{mc},38$; ainsi le volume total d'air et de vapeur à 100° qui se dégagerait par la cheminée serait de $23,4 + 19,38 = 42^{mc},78$. Une cheminée pourrait peut-être suffire au tirage et à l'évacuation des vapeurs ; car le mélange serait à 100° et la densité de la vapeur est beaucoup plus petite que celle de l'air sous la même pression et à la même température. Mais comme la vapeur produite pourrait se trouver à l'état vésiculaire, surtout à cause du refroidissement de la cheminée, on aurait à craindre que le tirage ne fût pas suffisant; il serait alors prudent de produire un tirage mécanique, qui d'ailleurs n'exigerait que peu de travail.

1601. Les conditions que nous venons d'exposer se sont trouvées réalisées dans le four de M. Porion, destiné à l'évaporation des vinasses de betterave et que nous représentons figures 355, 356 et 357, la première représente la coupe horizontale du four ; *a*, *a*, sont les fours à incinérer, chauffés au moyen de houille qu'on brûle sur les grilles *b;* ces fours sont représentés en coupe transversale figure 357 ; en *d* se trouvent deux plaques en fonte percées de trous et qui laissent rentrer une certaine quantité d'air qui a pour but de supprimer la fumée noire des foyers ; *e* est le carneau d'évaporation qui reçoit la vinasse en L par un tuyau muni d'un robinet à flotteur qui règle l'alimentation ; dans ce carneau qui se rend à la cheminée *k*, se trouvent disposés deux arbres *g* portant des palettes *f;* ces arbres

reçoivent un mouvement de rotation rapide au moyen des poulies *i*; *j* sont des portes de nettoyage; *o* sont des ouvertures pratiquées dans la voûte du carneau et qui servent au nettoyage des parois verticales de ce carneau. On conçoit facilement ce qui se passe dans ce four : le liquide introduit dans le carneau *e* y forme une couche étendue, de 0m,20 d'épaisseur, soumise à une évaporation considérable qu'augmente encore l'action des arbres à ailettes; celles-ci projettent dans le courant d'air chaud le liquide à l'état de gouttelettes fines, ce qui fournit un accroissement énorme de la surface de contact du liquide et de l'air chaud. La vinasse concentrée dans le carneau est introduite dans les fours; quand la masse prend corps, on remue avec des ringards pour régulariser l'incinération; cette dernière ne s'achève pas dans le four, on retire le salin avant qu'elle soit complète; on dispose le salin en tas, et le charbon qu'il contient achève de brûler lentement.

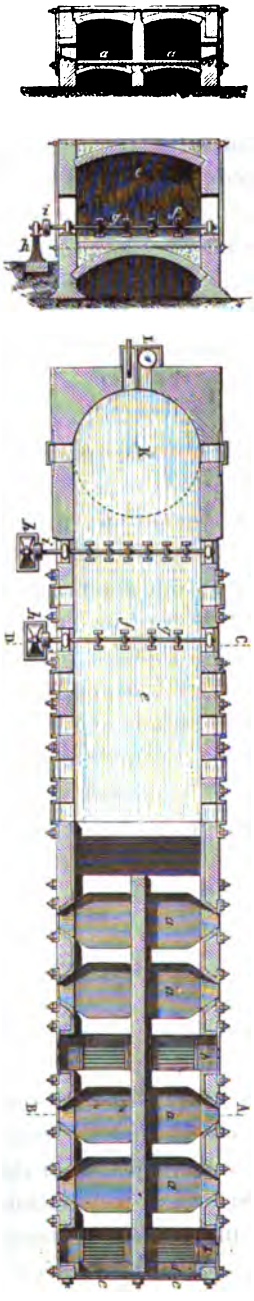


Fig. 355, 356, 357.

On obtient ainsi un effet utile, considérable : un four Porion peut servir à traiter 1600 hectolitres et plus de vinasse en vingt-quatre heures. Les inconvénients qu'on lui peut reprocher sont, d'une part, l'entraînement mécanique des goutelettes les plus fines par le courant d'air et par suite une perte de salin; d'autre part, le contact des produits de la combustion de la houille, toujours chargée d'acide sulfureux, avec le liquide à traiter, ce qui amène la transformation en sulfate du carbonate de potasse renfermé dans les sels.

1602. On a essayé de faire passer les gaz qui sortent du four à réverbère à travers le liquide à évaporer; la chaudière était garnie d'un double fond percé de petits trous; le gaz refoulé arrivait au-dessous et s'échappait en

filets qui traversaient le liquide; on a ainsi obtenu un très-bon effet utile de la chaleur produite dans le foyer; mais la complication de l'appareil et la force nécessaire pour mettre l'air en mouvement ont fait abandonner cette disposition.

CHAPITRE VI

Évaporation par la vapeur.

1603. Dans tous les modes d'évaporation produite par la chaleur, on peut se servir de la vapeur d'eau ou de celle de tout autre liquide pour chauffer les matières qui doivent être évaporées; jusqu'ici on n'a employé que la vapeur d'eau. Ce mode de chauffage ne présente point, en général, d'économie de combustible sur le chauffage direct, puisque, dans la formation de la vapeur, il y a autant et même un peu plus de perte de chaleur que dans le chauffage direct du liquide à évaporer. Cependant il est des circonstances dans lesquelles il y a réellement économie; c'est ce qui arrive quand les appareils évaporatoires sont nombreux, parce que la vapeur pouvant être fournie par un seul foyer, la perte de chaleur par les parois d'un seul fourneau est plus petite que celle qui aurait lieu par plusieurs produisant ensemble le même effet. Mais l'emploi de la vapeur est principalement avantageux pour évaporer les dissolutions de certaines substances végétales, qui, à cause de leur viscosité ou des dépôts qui se forment pendant l'évaporation, peuvent facilement être altérées, lorsque les chaudières sont exposées directement au feu; cet inconvénient ne peut pas exister par le chauffage à la vapeur, parce que les surfaces métalliques qui transmettent la chaleur ne peuvent jamais s'échauffer au delà de la température de la vapeur.

1604. Tous les appareils, destinés à évaporer des liquides par le chauffage à la vapeur d'eau, sont essentiellement composés : 1° d'une chaudière à vapeur, dans laquelle la vapeur est formée sous une pression suffisante pour que sa température dépasse au moins de 15 à 20° celle à laquelle l'évaporation doit avoir lieu; 2° d'une ou plusieurs chaudières évaporatoires que la vapeur chauffe, soit extérieurement en se condensant dans une double enveloppe, soit intérieurement en passant dans un appareil analogue aux serpentins des appareils distillatoires.

1605. Les chaudières à vapeur doivent être construites, ainsi que

tous les appareils qui en dépendent, d'après les principes que nous avons développés dans le livre VII, et les appareils de chauffage doivent être essayés comme les chaudières. Bien que ces appareils aient en général un grand excès de résistance, ils sont sujets à quelques accidents provenant principalement de l'ouverture brusque des robinets d'accès de la vapeur, qui produit alors le même effet qu'un choc violent; pour éviter ces accidents, il serait peut-être bon de munir les robinets d'un petit engrenage obligeant à ne les ouvrir que lentement.

1606. Les chaudières évaporatoires sont de formes très-variées; les seules conditions auxquelles elles soient assujetties sont : 1° de ne point être altérées par le liquide à évaporer; 2° quand elles sont chauffées extérieurement, d'avoir une forme et une épaisseur qui leur permettent de résister à la pression de la vapeur qui tend à les déformer et à les déchirer. Les surfaces de condensation de la vapeur, comme nous l'avons dit, peuvent être en dehors ou en dedans des chaudières; dans le premier cas, la surface de la chaudière forme une des parois du canal, la seule qui communique la chaleur au liquide; dans le second, toute la surface du canal parcouru par la vapeur échauffe le liquide.

1607. De quelque manière que soient disposés les canaux dans lesquels circule la vapeur, qu'ils soient extérieurs aux chaudières, ou composés de tuyaux de différentes formes, diversement contournés et placés dans les chaudières, ils doivent toujours satisfaire à plusieurs conditions : 1° avoir une épaisseur suffisante pour n'être ni déformés ni déchirés par la tension de la vapeur; 2° être disposés de manière à faciliter l'écoulement de l'eau de condensation dans un réservoir extérieur, ou dans la chaudière à vapeur; 3° enfin avoir une surface suffisante pour condenser, dans un temps donné, une quantité de vapeur au moins égale à celle que doit émettre le liquide soumis à l'évaporation.

1608. *Examen des phénomènes qui se produisent dans les appareils de condensation de la vapeur.* — Les phénomènes qui se produisent dans les canaux où l'on fait circuler la vapeur sont assez compliqués, même quand le liquide environnant est à une température constante, ce qui arrive lorsqu'il est en ébullition, et que sa densité ne change pas. Considérons d'abord un tuyau d'un petit diamètre, rectiligne ou contourné, mais dans un plan horizontal; supposons que la vapeur y arrive à 3 atmosphères, c'est-à-dire à peu près à 135°, par une des extrémités, et que l'autre s'ouvre dans

l'air. Si le tuyau ne transmettait pas de chaleur, la vapeur s'écoulerait en se détendant, de manière qu'à l'extrémité du tuyau elle se trouverait à la pression extérieure : du moins c'est ce qui arrive pour les gaz comprimés ; il y aurait alors un accroissement progressif de vitesse et un refroidissement résultant de la détente qui amènerait la vapeur de 135° à 100°.

Supposons maintenant que le tuyau soit placé dans un vase renfermant de l'eau en ébullition ; la transmission de la chaleur condensera la vapeur d'eau ; la tension et la température iront en décroissant uniformément, et l'eau provenant de la condensation s'accumulera progressivement et sera refoulée vers l'extrémité libre du tuyau dont elle occupera une longueur d'autant plus petite que la vitesse d'accès de la vapeur sera plus grande ; cette eau s'écoulera à 100°. Si le liquide entrait en ébullition à une température supérieure à 100°, l'eau de condensation ne pourrait pas prendre une température inférieure ; par conséquent elle aurait, à la sortie, une tension plus grande que celle de l'atmosphère, et elle perdrait rapidement cet excès de tension, par la production presque subite d'une certaine quantité de vapeur. Il résulte de là qu'il y aurait avantage, sous le rapport de l'effet utile des surfaces de chauffe, à établir une certaine pression dans le réservoir où se rendent les eaux de condensation. Si la pression y était égale à celle de la chaudière, la température et la tension de la vapeur resteraient les mêmes dans toute l'étendue du tuyau ; mais les eaux de condensation ne s'écouleraient pas ; il faut toujours évidemment que la tension de la chaudière ait un certain excès sur celle du réservoir, pour que l'eau de condensation soit entraînée ; une différence assez petite serait suffisante. Dans une expérience que nous rapporterons plus loin, on a condensé dans un serpentin 250 kilogrammes d'eau en 11 minutes, c'est-à-dire $\frac{250}{660} = 0^{k},379$ par seconde ; la vapeur entrait à 135° et le liquide extérieur était à 100° ; le tuyau ayant $0^{m},02$ de diamètre intérieur, sa section était de $0^{mq},000314$; ainsi l'eau condensée par seconde occupait dans le tuyau une longueur de $1^{m},21$; et, pour l'expulsion de cette eau, il fallait un excès de pression en eau d'environ $0^{m},10$, qui n'est qu'une faible fraction d'atmosphère, et qui pourrait d'ailleurs résulter de la pente du tuyau. Ainsi, il y aurait avantage, sous le rapport de la quantité de chaleur transmise par le tuyau, à établir dans le réservoir de vapeur condensée une pression peu inférieure à celle de la chaudière ; mais cet avantage

n'existerait réellement que pour la partie efficace du tuyau, c'est-à-dire pour celle qui n'est pas occupée par l'eau de condensation ; si le tuyau était trop long pour que la vapeur non condensée arrivât à son extrémité, la disposition indiquée ne ferait que raccourcir la partie efficace du tuyau ; et comme ordinairement les tuyaux ont un excès de longueur, la disposition en question devient inutile. Cependant il est toujours avantageux de faire rendre les eaux de condensation dans un réservoir fermé, terminé à la partie inférieure par une soupape qui s'ouvre à l'aide d'un flotteur quand le niveau de l'eau a atteint une certaine hauteur ; la pression dans ce réservoir serait toujours égale au moins à la tension correspondant à la température de l'ébullition du liquide à évaporer, et on utiliserait une plus grande partie de la chaleur, si, par un excès de pression dans le générateur, le tuyau ne condensait pas toute la vapeur qui y pénètre.

1609. Supposons maintenant que la vapeur, au lieu de parcourir un long tuyau d'un petit diamètre diversement contourné, arrive dans un espace élargi dont la surface soit, en partie ou en totalité, mouillée par le liquide à évaporer ; le premier cas se rencontre pour les chaudières à doubles fonds dans l'intervalle desquels arrive la vapeur ; le second existerait si la vapeur arrivait dans une caisse immergée dans le liquide à évaporer ; dans tous les cas, le vase de condensation doit renfermer à sa partie inférieure un tuyau pour l'écoulement de l'eau condensée. Dans la première disposition, la surface de condensation ne change pas, elle est toujours égale à la surface en contact d'un côté avec la vapeur et de l'autre avec le liquide à évaporer. D'après cela, cette disposition semble devoir être plus favorable à la transmission de la chaleur, que les tuyaux dans lesquels l'écoulement de l'eau de condensation diminue nécessairement l'étendue des surfaces efficaces ; mais, en général, c'est le contraire qui a lieu ; les doubles fonds des chaudières produisent beaucoup moins d'effet, dans les mêmes circonstances, que la même surface en tuyaux d'un petit diamètre. Cette différence peut provenir de plusieurs causes : d'une détente de la vapeur, résultant de son accès dans un grand espace ; ou de ce que l'air n'a point été complétement expulsé de cet espace ; ou enfin de ce que la couche d'eau qui recouvre la surface de condensation de la vapeur ne se renouvelle pas aussi rapidement que dans les tuyaux. Ces diverses causes agissent peut-être simultanément. Il est très-probable que c'est à la présence des molécules d'air mélangées avec la vapeur qu'il faut principalement attribuer l'infériorité généralement

observée des appareils à double fond par rapport aux tuyaux.

Dans tous les cas, il n'est pas douteux qu'il n'y ait un grand avantage à expulser l'air aussi complétement que possible des caisses de condensation, en y faisant passer un certain volume de vapeur, et à établir à peu près la pression de la chaudière dans le réservoir d'eau de condensation, ou du moins à disposer ce réservoir de manière que la vapeur y prenne une pression supérieure de quelques degrés à celle qui correspond à la température du liquide en ébullition.

1610. Quelle que soit la disposition de l'appareil de condensation, on observe toujours que, pour le même excès de température, la quantité de vapeur condensée augmente avec la température du liquide, et qu'elle est surtout beaucoup plus grande quand le liquide est en ébullition que lorsqu'il s'échauffe ; cet accroissement dans la quantité de chaleur transmise provient, sans aucun doute de ce que le liquide qui mouille le métal se renouvelle d'autant plus rapidement qu'il est plus échauffé, et que ce renouvellement s'effectue avec une très-grande rapidité quand l'ébullition existe.

1611. *Effets produits par les surfaces de chauffe.* — Nous avons vu (950) que la quantité de chaleur que peut transmettre une plaque de cuivre de 1 mètre d'épaisseur, dont les deux surfaces sont maintenues à des températures constantes est égale à 69 calories par mètre carré et par heure, pour une différence de température de 1° ce qui correspond, pour une épaisseur de $0^m,001$, à la condensation de $\frac{69000}{650} = 103$ kilogrammes de vapeur par mètre carré et par heure. Mais, pour obtenir un pareil résultat, il faudrait que le liquide qui mouille les deux surfaces fût renouvelé avec une rapidité de beaucoup supérieure à celle qui se produit naturellement ; aussi la quantité de chaleur transmise dans les appareils dont il s'agit est-elle beaucoup plus petite.

1612. D'après Clément-Désormes, un mètre carré de cuivre mince exposé d'un côté à la vapeur à 100°, et en contact par l'autre face avec de l'eau à une température moyenne de 28°, condense par heure 100 kilogrammes de vapeur ; ce qui revient à une condensation de $\frac{100}{72} = 1^k,4$ par mètre carré, par heure et par degré de différence de température. Clément n'a pas décrit l'appareil qu'il a employé ; mais il est à présumer qu'il a opéré sur des chaudières à double fond, qu'il n'a pas pris les précautions nécessaires pour expulser l'air, et que le liquide n'a point été porté à l'ébullition,

circonstances qui diminuent beaucoup la communication de la chaleur.

1613. Une chaudière cylindrique à double fond, qui renfermait 900 kilogrammes de jus de betterave, à la température de 4°, a été chauffée par de la vapeur à 135°; le liquide a été porté à l'ébullition en 16′, ce qui correspond à $\frac{900.96.60}{16} = 324,000$ unités de chaleur par heure, pour une différence moyenne de température de 83°; et comme la surface du double fond était de $2^{mq},40$, cette quantité de chaleur correspond à la condensation de $\frac{324000}{650.2,4} = 208$ kilogrammes de vapeur par mètre carré et par heure pour une différence de température de 83°, ou à $2^{k},50$ pour une différence de température de 1°, nombre beaucoup plus grand que celui qui a été donné par Clément. Dans cet appareil, le tuyau amenant la vapeur avait $0^{m},04$ de diamètre, et il y avait un robinet placé à la partie supérieure du double fond pour l'expulsion de l'air.

1614. Dans les appareils formés d'un seul tuyau d'un petit diamètre, la condensation de la vapeur est beaucoup plus grande. Voici les résultats de plusieurs expériences faites par MM. Thomas et Laurens, sur une bassine d'évaporation chauffée par la vapeur qui circulait dans un tuyau.

Le tuyau avait 42 mètres de longueur, $0^{m},034$ de diamètre extérieur, et $4^{mq},48$ de surface. On introduisit 400 kilogrammes d'eau à 8° dans la chaudière, et l'on fit circuler dans le serpentin de la vapeur d'eau à une tension moyenne de 3 atmosphères, et par conséquent à 135°. En 4 minutes, l'eau fut portée à l'ébullition, et après 15 minutes 250 kilogrammes d'eau avaient été vaporisés. Dans la première partie de l'expérience, 400 kilogrammes d'eau ont été échauffés en 4′ de 8° à 100°, et ont reçu par conséquent $400.92 = 36800$ calories, qui correspondent à $\frac{36800}{650} = 56^{k},6$ d'eau vaporisée en 4′; on condenserait donc $56,6.15 = 84,9$ kilogrammes de vapeur par heure, pour un excès de température de $135 - \frac{108}{2} = 81°$, et par conséquent pour une différence de 1°, ce serait seulement $\frac{849}{81} = 10,48$. Comme la surface de chauffe était de 4^{mq}, 48 la quantité de vapeur correspondant à la chaleur transmise par mètre carré, par heure et par degré de différence de température, était seulement de $\frac{10,48}{4,48} = 2^{k},33$. Il faut observer que le serpentin et la bassine ont été échauffés dans le même temps. Dans la seconde partie de l'expérience, en 11 minutes, pour une différence de température de 35°,

une surface en $4^{mq},48$ a vaporisé 250 kilogrammes d'eau ; ce qui fait $8^{k},70$ de vapeur condensée par mètre carré, par heure et par degré d'excès de température.

Dans une autre expérience, il y avait deux serpentins ; chacun avait 15 mètres de développement et $0^{m},034$ de diamètre extérieur ; ils présentaient ensemble une surface de $3^{mq},67$. La vapeur circulant dans les serpentins à une pression de 2 atmosphères et à 121°, on a évaporé 60 kilogrammes d'eau en 5 minutes : ce qui correspond à 196 kilogrammes par mètre carré et par heure, pour une différence de température de 21°, ou bien à peu près à $9^{k},34$, par degré de différence de température.

1615. M. Walkhoff donne comme résultat de ses expériences sur les serpentins 112 kilogrammes de vapeur condenséep ar mètre carré et par heure pour une différence de 37°,7 soit : $\frac{112}{37} = 3$ kilogrammes pour un degré d'excès.

1616. M. P. Havrez, ingénieur des mines en Belgique, a fait, sur le même sujet, un certain nombre d'expériences publiées dans la *Revue universelle* de M. Cuyper, tome XX.

Dans une première série d'expériences un serpentin en cuivre de $0^{m},04$ de diamètre faisant trois circonvolutions de $0^{m},46$ de diamètre et présentant une surface de chauffe de $0^{mq},544$ était placé dans une cuve en fonte renfermant 100 kilogrammes d'eau ; la température initiale de l'eau étant 20°, celle de la vapeur de 149°, on porta l'eau à l'ébullition en condensant 207 kilogrammes de vapeur par mètre carré et par heure, ce qui fournit pour la quantité de vapeur condensée pour un degré d'excès moyen $2^{k},32$. Dans une seconde expérience la température initiale de l'eau étant 20°, celle de la vapeur de 152°, on a condensé 120 kilogrammes par mètre carré et par heure pour le porter à la température de l'ébullition, soit $\frac{220}{92} = 2^{k},39$ pour un degré d'excès moyen; enfin, la température initiale de l'eau éta 40°, celle de la vapeur 152, la quantité condensée par mètre car et par heure pour porter l'eau à l'ébullition a été de 190 kilogrammes, soit $\frac{190}{82} = 2^{kil},32$ pour un de ré d'excès moyen.

Pour entretenir l'ébullition dans la cuve, on a dépensé de 50 à 79 kilogrammes de vapeur par mètre carré et par heure, soit de 1 kilogramme à $1^{kil},6$ de vapeur condensée pour un degré d'excès moyen.

Dans une deuxième série d'expériences, M. Havrez a opéré sur une chaudière à double fond en fonte, la surface de chauffe était de

$0^{m},611$. En employant de la vapeur à 149° on a chauffé de l'eau de 20 à 100° en condensant 69 kil. de vapeur par mètre carré et par heure, soit $0^{k},77$ pour un excès moyen de un degré.

L'entretien de l'ébullition a exigé une quantité de vapeur sensiblement égale.

1617. Il résulte de ce que nous venons de rapporter :

1° Que, pour des chaudières à double fond en cuivre, avant l'ébullition, la quantité de vapeur condensée par mètre carré, par heure et par degré d'excès de température, est égale à $1^{k},4$, pour un excès moyen de température de 28°, et à $2^{k},57$ pour un excès moyen de 83° ; la différence résulte très-probablement de ce que le liquide se renouvelle beaucoup plus rapidement quand le liquide est plus échauffé ; pour les chaudières en fonte, d'après M. Havrez, la transmission serait beaucoup plus faible.

2° Que pour des serpentins, pendant l'échauffement du liquide, la quantité de chaleur transmise a été, aussi par heure, par mètre carré et par degré de différence de température, de $2^{k},33$ pendant l'échauffement ; et de $8^{k},70$ à $9^{k},33$ pendant l'ébullition ; la grande différence observée dans ces deux cas résulte, sans aucun doute, du rapide renouvellement, pendant l'ébullition, du liquide qui mouille les tubes. Le premier nombre, $2^{k},33$ est probablement trop faible, à cause de la chaleur nécessaire pour échauffer les appareils et dont on n'a pas tenu compte. Le second nombre $8^{k},70$ à $9^{k},33$ est probablement un maximum qu'on atteint rarement dans la pratique ; la quantité trouvée par M. Havrez, à savoir : 1 kilogramme à $1^{k},6$, étant elle-même un minimum.

1618. En résumé, on peut admettre, pour les doubles fonds en cuivre, une condensation de $2^{k},5$ de vapeur par mètre carré, par heure et par degré de différence de température, pendant qu'on porte le liquide à l'ébullition ; mais on ne sait rien d'exact, relativement à la quantité de vapeur condensée pendant l'ébullition. Pour les doubles fonds en fonte, la condensation ne s'élèverait pas à plus de 1 kilogramme. Pour les tuyaux, on peut admettre au moins $2^{k},50$ pendant le chauffage du liquide, et au plus de 8 à 9 kilogrammes pendant l'ébullition. Mais pour les serpentins, il y a une condition importante à remplir : leur longueur ne doit pas dépasser une certaine limite ; car la vapeur ne s'étend pas nécessairement jusqu'à leur extrémité, si la longueur est trop grande, quoiqu'il soit bien certain que la vapeur y éprouve une certaine détente, quand une des extrémités débouche dans l'air. On a reconnu, par expérience, que des serpentins

de 25 à 30 millimètres de diamètre intérieur ne devaient pas avoir plus de 30 à 40 mètres de longueur. Il est important de remarquer que la quantité de vapeur condensée par mètre carré, par heure et par degré de différence de température ayant été trouvée sensiblement la même pour des chaudières à double fond et des tuyaux, il est très-probable qu'il en serait de même quand l'ébullition est établie; mais il faudrait nécessairement que toutes les précautions eussent été prises pour expulser complétement l'air.

On emploie aussi des appareils de chauffage dans lesquels la vapeur parcourt simultanément plusieurs tuyaux, et qu'on désigne sous le nom de grilles; mais, comme, dans ces appareils, on ne peut pas s'assurer si la vapeur parcourt simultanément tous les tuyaux, on ne peut rien affirmer relativement à l'effet qu'ils produisent; cependant, si tous les petits tuyaux débouchaient dans un autre d'un grand diamètre, il deviendrait probable que tous fonctionnent, et alors les surfaces de chauffe devraient produire le même effet que si la vapeur ne s'écoulait que par un seul tuyau.

1619. Dans ce qui précède, nous avons pris, pour l'excès de température des surfaces de transmission, la différence entre la température de la vapeur dans la chaudière et celle du liquide à échauffer; c'est une méthode commode dans la pratique, mais la différence de température des deux surfaces est réellement plus petite : d'abord la surface extérieure est à une température plus élevée que celle de l'ébullition du liquide, car ce n'est qu'à cette condition qu'il y a transmission de chaleur; et l'autre surface est à une température inférieure à celle de la vapeur dans la chaudière, parce que la vapeur a éprouvé une certaine détente dans son trajet, et que la condensation de la vapeur s'effectue, non sur la surface métallique, mais sur une couche d'eau d'une certaine épaisseur, qui recouvre constamment le métal.

1620. Afin de donner une idée de la méthode à employer pour calculer la quantité de vapeur de chauffage à produire et l'étendue de la surface de chauffe d'un appareil, nous prendrons pour exemple la concentration du sirop de sucre. Le sirop, avant la cuite, porte le nom de *clairce;* il est ordinairement composé de 30 parties d'eau et 70 parties de sucre. Pour être amené à 47° de l'aréomètre, ce qui est le degré de concentration ordinaire, il doit perdre à peu près 15 pour 100 d'eau. Ainsi, si l'on voulait concentrer par heure 10000 kilogrammes de clairce, il faudrait évaporer 1500 kilogrammes d'eau et élever la masse à la température de l'ébullition. En supposant que la vapeur soit à 3

atmosphères et par conséquent à 135°, et la clairce à 20°, comme la chaleur spécifique de la clairce et la moitié de celle de l'eau, la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer la masse à 110°, qui est à peu près la température de l'ébullition, sera $\frac{10000 \times 90}{2} = 450000°$, ce qui correspond à $818^k,1$ de vapeur; ainsi la quantité totale de vapeur à fournir par heures sera égale à $1500 + 818^k,1 = 2318^k,1$. Quant à l'étendue de la surface de chauffe, il faut remarquer que, pendant le chauffage de la clairce, la différence moyenne de température de la vapeur et du liquide est $135 - \frac{110 + 20}{2} = 70$, tandis que l'excès moyen de la température de la vapeur sur celle de la clairce, pendant l'évaporation, diffère peu de 21°. On voit alors que, sous le rapport du temps, tout se passera comme s'il s'agissait de condenser $1500 + \frac{21}{70} 818^k = 1745^k,4$ par heure, avec une différence de température de 21°. L'étendue de la surface de chauffe, en supposant que la vapeur parcoure des serpentins, devra être de $\frac{1745,4}{21,8} = 10^{mq},4$. D'après ce que nous avons dit précédemment, il faudra trois ou quatre appareils.

Nous allons maintenant examiner les différentes dispositions adoptées.

1621. L'appareil représenté par la figure 358 est le plus simple

Fig. 358.

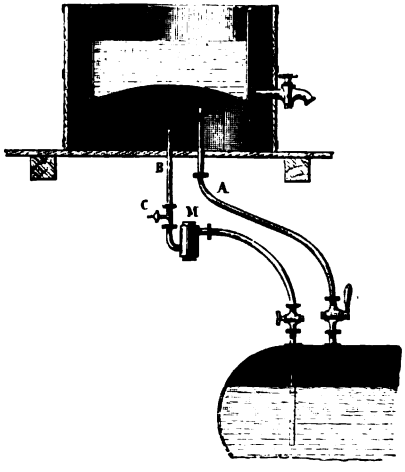


Fig. 359.

qu'on puisse employer pour le chauffage et l'évaporation par la vapeur ; il est composé de deux chaudières placées l'une dans l'autre, et dont

les collets sont maintenus par des boulons ; on met de l'eau dans l'intervalle qui les sépare, et le liquide à évaporer dans la chaudière intérieure. Une soupape de sûreté s'oppose à ce que la tension de la vapeur dépasse la limite fixée : un tube latéral indique le niveau de l'eau dans le double fond ; un autre tube garni d'un robinet et d'un entonnoir permet d'introduire de l'eau dans le double fond pour la première fois, et de remplacer celle qui peut s'échapper à l'état de vapeur par la soupape de sûreté ; le liquide concentré s'écoule par un tube garni d'un robinet. L'appareil est placé sur un foyer qui chauffe directement la chaudière extérieure.

1622. On donne souvent aux chaudières d'évaporation les formes représentées par les figures 359, 360 et 361 dans lesquelles A représente le tuyau qui amène la vapeur de la chaudière ; B, celui de retour d'eau ; C, le tube à air ; et D, le tuyau d'écoulement du liquide

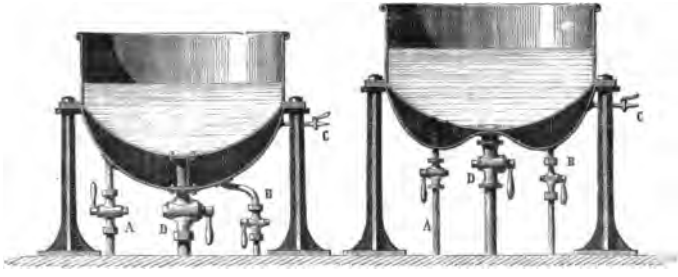


Fig. 360. *Fig.* 361.

concentré. La première disposition (*fig.* 359) a l'avantage de permettre de placer latéralement ce dernier tuyau. Dans la dernière, il est mieux placé que dans la disposition de la figure 360, pour laquelle il est difficile de le rendre étanche.

1623. On pourrait placer la chaudière d'évaporation au-dessus du générateur et faire écouler la vapeur et l'eau par le même canal. Quoique cette disposition soit très-simple, elle est rarement employée, parce qu'elle exige que le canal commun ait un grand diamètre et s'élève d'une manière continue, et parce que les mouvements en sens contraires de l'eau et de la vapeur se gênent toujours.

1624. Assez souvent on fait revenir directement l'eau de condensation à la chaudière par un tuyau distinct et qui descend jusqu'au fond du générateur. Mais, pour éviter que l'eau de la chaudière ne soit élevée dans l'espace où la vapeur se condense, on place sur le tuyau une boîte M (*fig.* 359) garnie d'une soupape qui s'ouvre par

une pression dirigée de bas en haut. La pression de la vapeur la maintient fermée, et elle ne s'ouvre que lorsque le poids de la colonne d'eau condensée, augmenté de la pression qui reste dans la chambre de condensation, peut vaincre la pression dans la chaudière ; ce qui arrive toujours après un temps plus ou moins long ; car l'eau, après avoir rempli la portion du tuyau qui précède la soupape, s'accumule dans la chambre, diminue la condensation en diminuant l'étendue de la surface où elle s'opère, et par suite augmente la force élastique de la vapeur dans la chambre. Dans le cas le plus défavorable, le retour d'eau fonctionnerait nécessairement après chaque opération, quand on aurait vidé la chaudière. D'autres fois, l'eau de condensation est reçue dans un vase fermé dont nous parlerons plus loin.

1625. Pour augmenter les surfaces de condensation et pour expulser plus facilement l'air des chambres, on a imaginé un grand nombre de dispositions différentes que nous décrirons successivement.

On a d'abord employé un faisceau de tubes égaux et parallèles, de quelques centimètres de diamètre, fixés par les deux bouts à deux tuyaux d'un diamètre plus grand ; l'un d'eux était divisé par une cloison transversale en deux parties égales ; par l'une arrivait la vapeur qui parcourait la moitié des tubes et revenait par l'autre moitié. Cette disposition a plusieurs inconvénients : 1° la vapeur circule rarement dans tous les tubes, par conséquent l'air n'est pas complétement expulsé, et une partie de la surface de chauffe est perdue ; 2° l'inégale dilatation des tubes qui restent pleins d'air et de ceux dans lesquels circule la vapeur fait souvent casser les soudures ; 3° on ne peut nettoyer la chaudière qu'en dévissant les brides qui y fixent la grille.

Fig. 362.

On a aussi complétement abandonné les dispositions Pecqueur et Moulfarine imaginées pour permettre la dilatation indépendante de chacun des tubes de la grille.

De tous ces appareils, le plus simple est un tube contourné en spirale (*fig.* 362) ; c'est aussi le plus généralement employé ; l'air peut en être complétement expulsé, et les variations de température de ses différentes parties sont sans influence. Dans les bassines à concentrer ou à cuire les jus sucrés, dans lesquelles on emploie ces

serpentins, on mettait fort souvent deux serpentins semblables enroulés l'un dans l'autre ; on uniformisait ainsi la température dans les grandes bassines, car dans ces deux serpentins la vapeur marchait en sens inverse.

1626. Dans tous les appareils dont nous venons de parler, quand le retour d'eau n'est pas direct, il est important de recevoir les eaux de condensation dans des vases fermés, qui maintiennent la vapeur à une certaine pression et n'en laissent pas échapper. Ces réservoirs sont représentés dans les figures 363 et 364. Dans la première, le

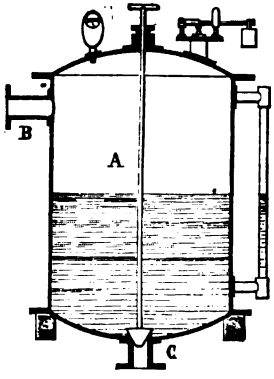


Fig. 363.

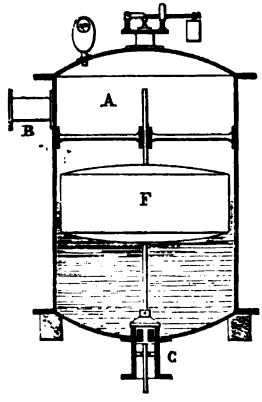


Fig 364.

vase A, qui reçoit l'eau de condensation par le tuyau B, porte à la partie inférieure une tubulure C, fermée par un bouchon conique ; ce bouchon peut être soulevé au moyen d'une tige qui passe à travers une boîte à étoupe fixée à la partie supérieure du vase. Celui-ci est garni d'un tube de niveau, d'une soupape de sûreté et d'un manomètre métallique ; on peut ainsi savoir ce qui s'y passe, et le vider quand il est rempli ; l'eau s'écoule dans la bâche d'alimentation de la chaudière.

La figure 364 représente une disposition semblable, mais dans laquelle le soulèvement du bouchon qui ferme l'orifice d'écoulement se fait de lui-même au moyen d'un flotteur F ; le tube de niveau devient alors inutile.

1627. Plusieurs autres dispositions ont été imaginées pour l'évaporation des dissolutions de sucre, principalement en vue de diminuer la durée de la concentration. Avant de les indiquer, je rappellerai quelques principes qui devraient toujours servir de guides dans la disposition des appareils.

1628. Quand l'évaporation a lieu par l'ébullition, la quantité de vapeur produite représente la quantité de chaleur transmise à la masse de liquide, à moins pourtant que la surface libre du liquide n'ait une grande étendue ; car, dans ce cas, il y a sûrement une certaine quantité de chaleur perdue par le rayonnement et par le contact de l'air. Il doit arriver pour l'évaporation ce qui a été bien constaté pour le séchage des étoffes mises en contact avec des surfaces métalliques chauffées par la vapeur : la quantité de vapeur condensée excède toujours de beaucoup la quantité d'eau sortie des toiles. A la vérité, la surface extérieure n'est pas toujours mouillée, comme elle l'est dans le cas de l'évaporation, mais une partie au moins de l'effet constaté doit se produire. Ainsi, quand l'évaporation a lieu par l'ébullition, la quantité de vapeur produite sur les surfaces de chauffe dépend de leur étendue et de l'excès de température ; cette vapeur se dégagerait entièrement si la surface du liquide ne perdait point de chaleur par le rayonnement, ou par le contact de l'air, et il en résulte une certaine perte. Cette perte dans les appareils ordinaires est faible ; mais elle pourrait devenir très-grande, si, par exemple, dans les différentes chaudières à évaporation par la vapeur que nous avons décrites, les tuyaux, au lieu d'être serrés les uns contre les autres, étaient répartis sur une grande surface.

1629. Quand l'évaporation doit avoir lieu à une température inférieure à celle de l'ébullition, elle est produite par le mouvement de l'air et elle augmente avec l'étendue des surfaces exposées à l'air, avec la température du liquide et la vitesse du courant. Pour une certaine étendue des surfaces de transmission de chaleur dans le liquide, et des surfaces mouillées exposées à l'air, on pourra toujours, en faisant varier la vitesse du courant, produire l'évaporation à une température déterminée. Dans ce cas, la quantité de chaleur absorbée pour l'évaporation de 1 kilogramme d'eau serait plus grande que lorsque l'évaporation a lieu à la température de l'ébullition, à cause de la chaleur perdue par le rayonnement des surfaces exposées à l'air et de la chaleur employée à chauffer l'air, mais d'autant moins que la température serait plus élevée. Sil y avait nécessité ou seulement avantage, sous le rapport de la qualité des produits, à évaporer un liquide par l'air, les dispositions indiquées (*fig.* 349, 350, 351 et 352) seraient certainement très-avantageuses, parce que, l'enveloppe étant à la température du liquide, la perte de chaleur par rayonnement serait nulle, et que celle provenant du refroidissement du dôme pourrait être détruite au moyen d'une enveloppe

conduisant mal la chaleur ; mais il faudrait reconnaître par expérience l'influence que pourrait avoir, sur la qualité du produit, le renouvellement rapide de l'air, et vérifier s'il ne se produirait pas un phénomène analogue à celui qui a été constaté en faisant passer l'air à travers le liquide (1598), et, en outre, s'il n'y aurait pas beaucoup d'eau entraînée mécaniquement.

1630. *Cône évaporatoire de M. Lambeck.* — Cet appareil, représenté en coupe verticale (*fig.* 365), se compose de deux troncs de cône verticaux, concentriques, AA, BB, de 4 à 5 mètres de hauteur ; l'espace annulaire qui les sépare est fermé en haut et en bas, et rempli de vapeur venant d'une chaudière ou d'une machine sans condensation. Le cône intérieur est garni de neuf cônes tronqués *d*, dentelés à leur partie inférieure et fixés sur une seule tige CC, qui permet de les enlever tous à la fois pour les nettoyer. Le cône extérieur est également garni de neuf cônes tronqués *e*, disposés en sens inverse des premiers, et dont la surface est dentelée à la partie supérieure. Le liquide à évaporer est fourni par un réservoir F, dont le niveau est maintenu constant au moyen d'un robinet à flotteur *a ;* il est de là conduit par le tuyau E dans le vase D, qui le distribue sur la surface du cône intérieur au moyen d'un grand nombre d'ouverture, et par le tuyau G dans le vase annulaire H, qui le répand sur le cône extérieur. Ce dernier vase H est garni d'un grand nombre de robinets *r*, *r'*, pour régulariser l'écoulement sur la surface du cône, ou seulement d'une ouverture annulaire dentelée. Les deux robinets *b* et *c* règlent la distribution du liquide dans les deux vases D et H ; ils sont solidaires et manœuvrés par deux tiges *f* et *f'* fixées aux extrémités d'une aiguille mobile sur le cadran L. Le liquide se trouve uniformément réparti, au moyen des deux séries de cônes *d* et *e*, sur les surfaces intérieure et extérieure qu'échauffe la vapeur ; et s'il n'était pas maintenu en ébullition, l'activité de l'évaporation serait augmentée par le mouvement ascensionnel du mélange d'air et de vapeurs. Le liquide concentré sur la surface extérieure est reçu dans le vase M qui le conduit, par le tube O et le canal I, dans le réservoir K, où arrive aussi le liquide concentré par la surface intérieure.

Cet appareil, basé sur le même principe que celui décrit n° 1597, a été établi dans plusieurs fabriques de sucre ; il produit beaucoup d'effet ; mais on n'a pas mesuré la quantité de vapeur condensée dans l'intervalle des deux cônes qui transmettent la chaleur ; et c'est le rapport de cette quantité de vapeur à celle qui a disparu par l'éva-

poration qui aurait été la mesure de l'effet utile produit ; je suis convaincu que, si ces expériences avaient été faites, on aurait trouvé une grande différence entre les quantités de vapeur condensées sur

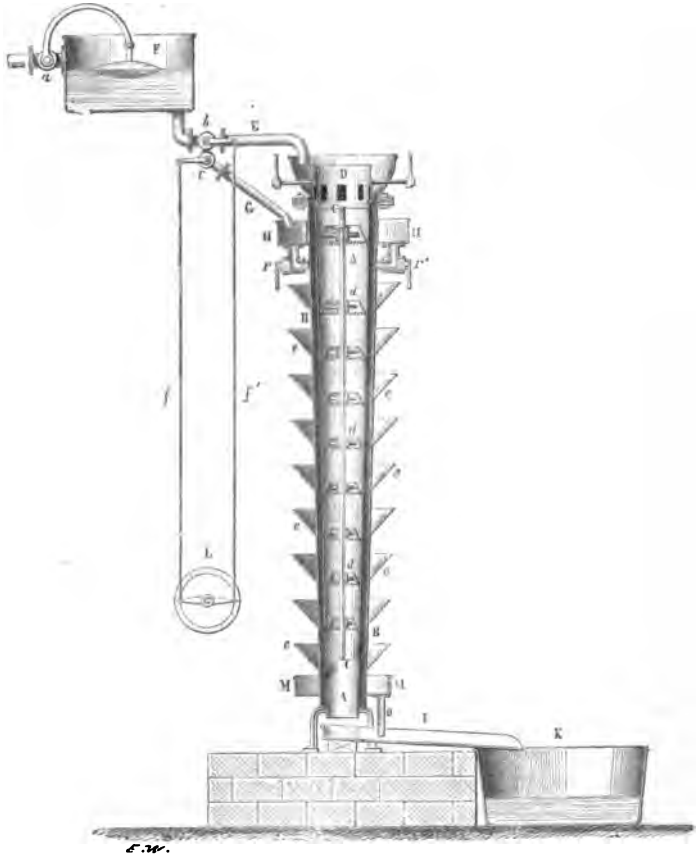


Fig. 365.

les faces intérieures et celles que produisent les faces extérieures, et que les mêmes surfaces de chauffe, en double fond ou en serpentin comme dans les dispositions ordinaires, produisent beaucoup plus d'effet utile. Aussi ne convient-il que pour utiliser des vapeurs à basse pression.

1631. Une autre disposition pour la concentration des dissolutions sucrées a été présentée à l'Exposition universelle de 1855. Cet appareil se compose d'un cylindre vertical en cuivre, ouvert par les deux bouts, de 3 mètres de hauteur et $0^m,50$ de diamètre, renfermant un

serpentin de $0^m,03$ de diamètre, lequel est contourné sur un cylindre de $0^m,25$ de diamètre et chauffé par de la vapeur à haute pression. Le grand cylindre renferme un très-grand nombre de sphères de cuivre creuses, retenues par une grille placée à la partie inférieure. A la partie supérieure du cylindre se trouve un réservoir du liquide à concentrer ; il est percé d'un grand nombre de petits orifices destinés à répandre uniformément, sur toute la section du cylindre, le liquide qui descend alors sur les surfaces des boules et du serpentin. L'auteur a prétendu que son appareil, essayé dans une raffinerie de sucre, avait donné de bons résultats, et qu'il serait surtout très-avantageux dans les fabriques de sucre indigène. Mais nous avons la conviction que c'est une illusion ; car le principe de cet appareil est contraire à tous les faits observés. Si le cylindre ne renfermait que le serpentin, et si le liquide, en s'écoulant, en parcourait successivement toute la surface, on se trouverait dans le cas de l'appareil que nous venons de décrire ; seulement les vapeurs condensées contre la surface intérieure du cylindre fourniraient de l'eau qui, en se mêlant avec le liquide concentré sur la surface du serpentin, diminuerait l'effet produit par ce dernier. Si maintenant nous supposons que le liquide s'écoule sur toutes les surfaces du serpentin et des sphères, le liquide qui recouvre les sphères ne pourra s'échauffer que par la condensation des vapeurs produites sur le serpentin, et les sphères d'une construction si chère n'auront qu'un effet négatif, seulement il y aura une certaine quantité de liquide évaporé par le courant d'air qui se produira dans l'appareil. Les sphères seraient utiles, si l'évaporation devait avoir lieu uniquement par l'air, mais il faudrait que le liquide fût introduit chaud, qu'il y eût au-dessus de la colonne une cheminée suffisante pour établir un bon tirage, ou que le mouvement de l'air eût lieu par une machine ; et dans ce cas, la chaleur étant fournie par le liquide lui-même, on n'en pourrait évaporer que moins de $\frac{1}{6}$.

1632. On a aussi proposé de placer, au-dessus d'une chaudière, un tube de cuivre plié en hélice autour d'un axe horizontal mobile ; l'hélice plonge par la partie inférieure dans le liquide, et le tube est traversé par un courant de vapeur ; l'hélice étant soumise à un mouvement continu de rotation, la partie du tuyau exposée à l'air, produit une évaporation assez rapide du liquide qui se renouvelle constamment. Il est évident que si, dans cet appareil, l'évaporation a lieu par l'ébullition, l'effet serait le même si le tuyau était fixe et

plongé dans le liquide; et que, si l'évaporation a lieu à une plus basse température, elle sera produite par l'air, et alors les appareils des n°s 1593 et 1595 seront bien préférables.

1633. *Évaporation par la chaleur de la vapeur détendue des machines a haute pression et sans condensation.* — La vapeur à la sortie des machines sans condensation, renfermant sensiblement la même quantité de chaleur qu'à son entrée, peut être employée à produire l'évaporation, absolument comme de la vapeur neuve, avec la seule différence que le liquide à évaporer ne peut pas être porté à 100°.

Dans ce cas, on fait intervenir l'air pour faciliter l'évaporation. Comme application de ce système, nous pouvons citer le cône évaporatoire de Lambeck, l'appareil du n° 1597 et les appareils décrits n°s 1593, 1595, en supprimant les foyers et en mettant de doubles fonds aux chaudières. Ce genre d'appareils a été fréquemment employé dans les colonies et dans les fabriques de sucre en France. On y a renoncé et on y a substitué les appareils d'évaporation dans le vide que nous étudierons dans le chapitre suivant. Avec quelques modifications cependant, ils pourraient être employés pour l'évaporation des eaux renfermant du sel marin.

1634. *Évaporation par la chaleur des eaux de condensation des machines.* — Cette chaleur qui représente plus des 0,60 de la chaleur produite dans le foyer, puisque les générateurs bien disposés produisent à peu près 7 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, pourrait facilement être employée pour évaporer des liquides avec l'aide du contact de l'air. Il faudrait d'abord faire passer cette chaleur dans le liquide à évaporer, en le chauffant à la plus haute température possible, et pour cela faire écouler l'eau chaude par un tube environné d'un autre d'un plus grand diamètre, dans lequel le liquide à évaporer marcherait en sens contraire. Il est évident que si la capacité calorifique du liquide différait peu de l'unité, et si les tubes avaient une longueur suffisante, ou si les deux mouvements étaient assez lents, il y aurait un échange complet de température entre deux poids égaux d'eau et du liquide; si la capacité calorifique du liquide était notamment plus grande ou plus petite, les poids des deux liquides devraient être évidemment inversement proportionnels à leurs capacités calorifiques. L'échange des températures pourrait aussi s'effectuer à l'aide de différentes dispositions dont nous parlerons à l'occasion du refroidissement des corps. Le liquide étant chauffé, il faudrait produire l'évaporation par l'air; pour cela, on ferait écouler

le liquide de haut en bas dans des appareils qui obligeraient l'air extérieur à se mouvoir en sens contraire. Un cylindre vertical renfermant des boules sur lesquelles le liquide se diviserait, et entre lesquelles l'air circulerait de bas en haut, serait très-convenable. On pourrait également se servir des appareils employés pour produire le refroidissement des liquides par l'évaporation et que nous verrons plus loin. Si l'on employait le reste de la chaleur des eaux de condensation à échauffer l'air, il est évident que toute la chaleur provenant du refroidissement pourrait être utilisée pour l'évaporation ; en supposant les eaux à 40° et refroidies à 10°, le refroidissement de 1 kilogramme pourrait évaporer $0^k,05$ du liquide sucré.

1635. *Évaporation par des bains d'huile chaude ou de dissolutions salines.* — Pour porter la chaleur des foyers dans le liquide à évaporer, on a employé différentes substances, principalement dans le but de ne mettre en contact avec le liquide que des corps dont la température fût peu élevée au-dessus de celle à laquelle l'évaporation devait avoir lieu. Nous avons vu que la vapeur d'eau remplit parfaitement cet objet.

Wilson, pour chauffer des liquides à une température supérieure à 100°, s'est servi d'huile qu'il échauffait à part, et qu'il faisait circuler, au moyen d'une pompe, dans un serpentin plongé dans le vase contenant le liquide à vaporiser. Cette disposition a été employée pour la concentration des sirops; l'huile était amenée à la température de 120 et quelques degrés : à cette température, elle ne laissait pas dégager une quantité sensible de vapeurs. On a trouvé l'huile de baleine épurée préférable aux autres. L'appareil de Wilson a plusieurs graves inconvénients : 1° il est difficile de régler le feu de manière à maintenir constamment l'huile à la température convenable; 2° une quantité assez notable d'huile est vaporisée ou décomposée; 3° l'emploi d'une pompe entraîne une certaine complication.

On pourrait employer des dissolutions salines qui n'entrent en ébullition qu'à des températures élevées, telles que des dissolutions de carbonate de potasse ou de chlorure de calcium, mais il faudrait maintenir constamment ces dissolutions au même état de concentration par le retour des vapeurs condensées. L'emploi de la vapeur d'eau à une pression de 3 ou 5 atmosphères est bien préférable sous le rapport économique, et cette faible pression ne présente aucun danger qui ne puisse facilement être prévenu.

CHAPITRE VII

Évaporation dans le vide.

1636. L'évaporation dans le vide pourrait se faire à la température ordinaire, au moyen d'une matière ayant une très-grande affinité pour l'eau et placée dans la même enceinte que le liquide à évaporer. Le prix de l'évaporation consisterait : 1° dans la dépense de force mécanique pour la production du vide ; 2° dans la valeur du combustible nécessaire pour dessécher la matière absorbante. Ce mode d'évaporation n'est guère applicable que sur une petite échelle. Nous y reviendrons cependant dans le livre suivant, parce qu'il pourrait être employé avec quelques avantages pour la dessiccation des matières animales.

1637. Mais l'emploi simultané du vide, ou du moins d'une diminution de pression et de la chaleur est maintenant très-usité, surtout dans les raffineries et dans les fabriques de sucre, parce que l'on évapore ainsi sans le contact de l'air et surtout très-rapidement, éirconstances favorables à la conservation des sirops.

Ce mode d'évaporation a été mis à exécution pour la première fois en Angleterre par Howard ; mais il a éprouvé quelques modifications, principalement dans les moyens employés pour faire le vide. Nous décrirons d'abord l'appareil d'Howard, et successivement ceux qu'on a essayé de lui substituer.

1638. *Appareil d'Howard.* — Cet appareil est représenté en coupe dans la figure 366. A est une chaudière destinée à cuire le sirop ; elle est formée de deux calottes de cuivre rouge fortement boulonnées, et elle est garnie d'un double fond dans lequel la vapeur arrive par le tuyau C ; D, tuyau de retour d'eau sur lequel est fixé le robinet d'air ; E, chambre où se réunissent les vapeurs ; le sirop qui pourrait être entraîné mécaniquement retombe dans la chaudière ; G, chambre de condensation, à laquelle aboutit un tuyau en communication avec la pompe à air destinée à maintenir le vide dans l'appareil, et qui n'est pas indiquée dans la figure ; l'eau froide arrive dans l'espace G par l'ouverture H, lorsque, par le mouvement de la manivelle à vis I, on a soulevé la soupape K et le piston L ; F, tuyau qui conduit les vapeurs de la chaudière au condenseur ; un tube établit la

communication de cet espace avec un manomètre qui indique la pression sous laquelle on produit l'évaporation. Un tuyau F′ est destiné à conduire le liquide entraîné par les vapeurs dans la capacité O, d'où il est facile de l'extraire au moyen du robinet R. M est le tuyau d'alimentation d'eau froide ; N, un petit appareil qui permet de prendre du sirop d'épreuve dans la chaudière, sans établir la communication entre sa capacité et l'air extérieur. Q est un thermo-

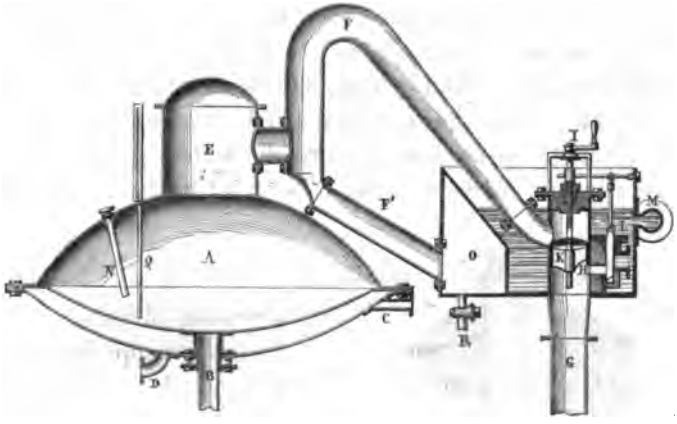


Fig. 366.

mètre destiné à indiquer à chaque instant la température du sirop.

Dans ces appareils, il y a toujours une différence de 9 à 12° entre la température de l'eau de condensation et celle du sirop, et la pression intérieure est toujours comprise entre $0^m,50$ et $0^m,55$ de mercure, ou $\frac{50}{76}$ et $\frac{55}{76}$ d'atmosphère. La pompe à air exige un travail de deux chevaux-vapeur, pour une fonte de 12,000 kilogrammes de sucre brut par jour, ou une fabrication de 100 pains par heure, ou de 600 à 700 kilogrammes de sucre blanc, et pour une condensation de 500 kilogrammes de vapeur par heure. Le volume d'eau froide employé est à peu près de 10 à 11 mètres cubes par heure, l'eau de condensation étant à 30°. L'appareil d'Howard s'est très-répandu, mais il a reçu plusieurs améliorations importantes : on a ajouté un serpentin intérieur, pour augmenter le travail, et on a allongé de différentes manières le circuit que parcourt la vapeur avant d'arriver dans le tuyau où se fait l'injection, afin de recueillir plus complétement le liquide qui pourrait être entraîné ; on y a aussi ajouté des glaces pour voir l'intérieur de la chaudière.

Voici maintenant l'indication des appareils qu'on a essayé de substituer à ceux de M. Howard.

1639. *Appareil de Roth.* — Cet appareil ne diffère réellement de celui d'Howard qu'en ce que le vide est produit par la vapeur ; la figure 367 en représente une coupe verticale. La chaudière de cuite A est disposée comme dans l'appareil d'Howard, mais elle renferme un serpentin dans lequel circule la vapeur. D est un vase en tôle épaisse, dans lequel s'opère la condensation de la vapeur ; il est garni d'un manomètre *m* et d'un indicateur de niveau *n ;* E, tuyau de vapeur communiquant avec la chaudière ; F, G et H, robinets d'admission de la vapeur dans le double fond, dans le serpentin et dans la chaudière ; F′ et G′, robinets de retour d'eau du double fond et du serpentin ; *i*, robinet destiné à introduire du beurre pour empêcher la cuite de devenir mousseuse ; K, robinet du tuyau qui plonge dans

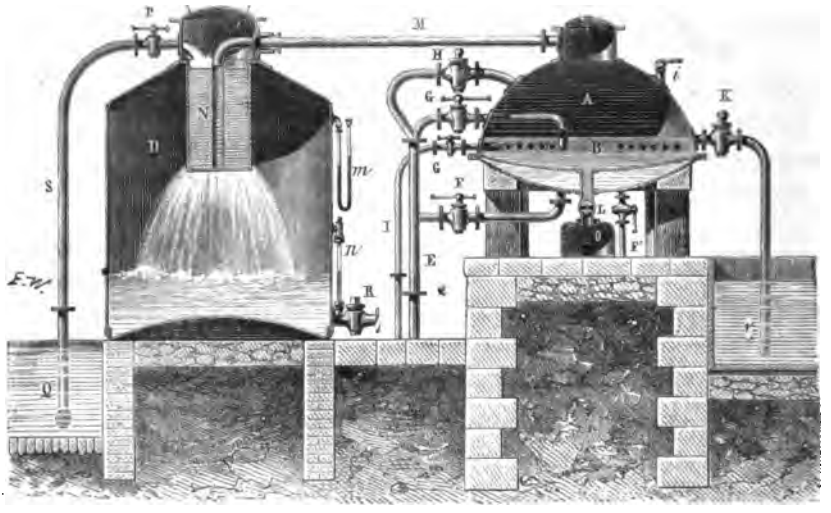


Fig. 367.

le vase ouvert renfermant le sirop à cuire ; L, robinet du tuyau d'écoulement du sirop cuit, dans le vase O ; M, tuyau qui conduit les vapeurs dans le condenseur ; N, assemblage de plaques métalliques percées d'un grand nombre de trous à travers lesquels l'eau froide se répand en très-petits filets qui sont traversés par la vapeur ; P, robinet du tuyau S d'alimentation de l'eau froide ; Q, réservoir d'eau froide, et R, robinet pour évacuer l'eau chaude et l'air à la fin de chaque opération.

Voici la manière d'opérer. La chaudière étant vide, en ouvrant les robinets H et R, les autres étant fermés, la vapeur s'introduit dans la chaudière et dans le condenseur; un mélange d'air et de vapeur sort par le robinet R; et après quelques instants, lorsqu'on suppose que tout l'air a été expulsé, on ferme ces robinets et on ouvre le robinet K d'admission du sirop; le liquide s'élève d'abord lentement par la condensation progressive de la vapeur dans la chaudière, occasionnée par le refroidissement de l'enveloppe, et ensuite très-rapidement, quand une partie du sirop a pénétré dans la chaudière, à cause de la condensation brusque qu'il occasionne. Lorsque le sirop, dans le bassin, est descendu à une limite fixée, on ferme le robinet K, et on ouvre les robinets F et G qui admettent la vapeur dans le double fond et dans le serpentin, ainsi que les robinets des retours d'eau, et quelques instants après le robinet d'injection P. Après quelques minutes on prend du sirop au moyen de la sonde, et quand il est arrivé au point convenable, on ferme le robinet P d'injection; le sirop s'échauffe, et lorsqu'il est parvenu à 80 ou 90°, on ouvre le robinet de rentrée d'air et le robinet L, et le sirop cuit s'écoule. Pour procéder à une nouvelle opération, on ouvre le robinet R; l'eau chaude s'écoule, et on introduit de nouveau la vapeur dans la chaudière, pour expulser l'air qui la remplit ainsi que le condenseur.

La consommation d'eau doit être la même dans les appareils d'Howard et de Roth, la cuite ayant lieu à la même température. M. Roth, l'estime à quatre fois le poids du sirop à cuire. D'après M. Roth une chaudière de cuite ayant 2 mètres de diamètre, suffit complétement au travail qu'exige une fabrique opérant journellement sur 25,000 kilogrammes de sucre brut.

Lors de l'apparition des appareils de Roth, l'inventeur prétendait qu'ils consommaient moins de vapeur pour établir le vide, que ceux d'Howard pour l'établir et le maintenir; mais l'expérience a prouvé qu'il n'en était pas ainsi. Ils exigent plus de vapeur, et par conséquent de combustible, pour faire le même travail que ceux dans lesquels le vide est produit et maintenu par une action mécanique; aussi ces derniers sont préférés et seuls employés.

1640. *Appareil de MM. Trappe et Louvrier-Gaspard.* — Ces constructeurs ont proposé et essayé un appareil analogue à celui de M. Roth, mais dans lequel le condenseur a des dimensions beaucoup plus petites et se termine par un tube vertical d'environ 10 mètres de hauteur, dont l'extrémité inférieure plonge dans un vase cons-

tamment rempli d'eau et par lequel s'écoule l'eau de condensation. Cet appareil consomme moins de vapeur que celui de M. Roth, mais il exige un puits profond, ou bien il faut que l'appareil soit placé dans les étages supérieurs des bâtiments ; cette disposition n'a pas non plus été adoptée par l'industrie. Cependant M. Walkhoff donne dans son ouvrage un dessin représentant un condenseur employé en Allemagne et fondé sur le principe de celui qui nous occupe ; les avantages que M. Walkhoff trouve dans une diminution du travail de la pompe à eau sont et au delà compensés par l'encombrement que produit l'appareil.

1641. Il est important de remarquer que l'on pourrait réduire presque à rien la dépense réelle de la pompe aspirante dans les appareils d'Howard, en employant de la vapeur à haute pression, une machine à détente sans condensation, et en faisant ensuite passer la vapeur détendue dans une des chambres de condensation de la chaudière, entre les deux fonds ou dans le serpentin. Mais le travail exigé par les pompes est réellement insignifiant.

1642. *Appareil de M. Pelletan.* — M. Pelletan a imaginé un appareil analogue à celui de M. Roth, mais dans lequel l'expulsion de l'air était produite par un jet de vapeur dirigé de dehors en dedans. Pour comprendre ce mode d'action de la vapeur, considérons une capacité AB (*fig.* 368) d'une forme quelconque, garnie de tubulures, l'une E communiquant avec l'extérieur, une autre F communiquant avec un espace fermé dans lequel on veut produire un vide partiel et enfin une dernière C, communiquant avec un générateur et portant un tube conique D, dont l'extrémité se trouve à une petite distance de l'ouverture de la tubulure E, et dont le diamètre est plus petit que celui de cette tubulure. Le jet de vapeur entraîne avec lui l'air de l'espace AB et par suite celui de l'espace avec lequel AB communique par la tubulure F ; il y produit par conséquent un vide partiel. En employant de la vapeur à 3 atmosphères, et avec les rapports des diamètres indiqués par M. Pelletan, la pression dans l'espace AB et dans celui qui communique avec lui s'est abaissée à $0^m,50$ de mercure, ou $\frac{50}{76}$ d'atmosphère. L'appareil de M. Pelletan est fort ingénieux, il avait séduit quelques manufacturiers par sa simplicité, mais on a vite reconnu qu'il occasionnait une plus grande dépense de vapeur et qu'il était difficile d'utiliser le

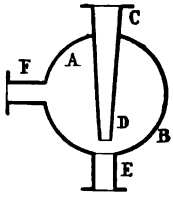


Fig. 368.

mélange de vapeur et d'air après son action ; il a été complétement abandonné. Toutefois ce moyen de faire le vide peut être employé dans quelques circonstances, de préférence à celui de M. Roth, pour de petits appareils dans lesquels il ne vaudrait pas la peine de construire des pompes.

Le principe de l'appareil de M. Pelletan est le même que celui de l'injecteur et il a été repris, comme nous l'avons dit (1184), par M. Körting de Hanovre et utilisé à faire le vide dans les condenseurs de machine à vapeur.

1643. *Appareil de M. Degrand.* — L'inconvénient des appareils précédents est de consommer pour la condensation une grande

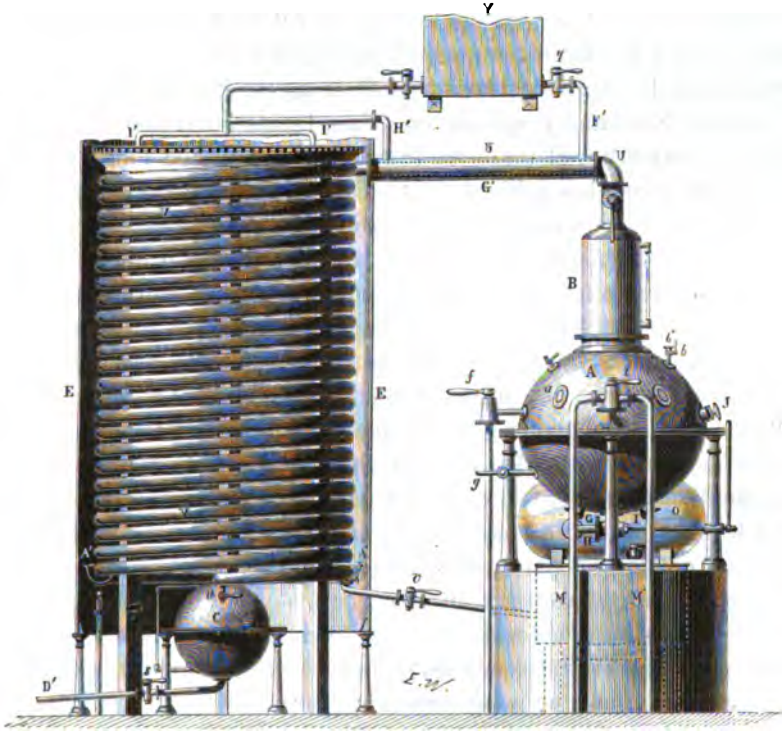


Fig. 369.

quantité d'eau, et cette eau emporte de la chaleur qui se trouve ainsi perdue. M. Degrand avait voulu remédier à ces deux inconvénients en opérant la condensation par un commencement d'évaporation du sirop qui doit entrer plus tard dans la chaudière. Dans son appareil

le vide est d'abord produit par la vapeur (*fig.* 369). Il se compose de trois parties distinctes : d'une chaudière évaporatoire, disposée comme dans tous les appareils de cuite dans le vide ; d'un réservoir fermé, placé au-dessous de la chaudière et destiné à recevoir le sirop cuit ; et enfin de l'appareil de condensation des vapeurs par le sirop.

A est une chaudière en cuivre formée de deux calottes sphéroïdales, exactement close et assez solide pour résister à la pression atmosphérique. Elle est surmontée d'une capacité B, dans laquelle se rassemblent les vapeurs qui se dégagent du sirop contenu dans la chaudière. Le sirop est chauffé, comme dans les autres appareils du même genre, par de la vapeur qui circule dans le double fond de la chaudière et dans son serpentin, et dont les robinets *f* et *g* règlent l'admission ; G et *e* sont les tuyaux de retour d'eau. Le robinet H sert à vider la chaudière quand l'opération est terminée. Pour enlever l'air de l'appareil, on introduit la vapeur dans la chaudière en tournant le robinet *f*, qui sert en même temps à introduire la vapeur dans le serpentin, et on ouvre le robinet *u*. Lorsque l'air a été expulsé, on ferme les robinets *f* et *u*, et on ouvre le robinet *q* ; alors le liquide renfermé dans le réservoir supérieur Y commence à s'écouler sur le condenseur V, et le vide se produit. Cette opération terminée, on ouvre le robinet *i*, et la charge de sirop à cuire est aspirée dans la chaudière par les tuyaux M, M' ; on ouvre ensuite les tuyaux *f* et *g* qui permettent l'accès de la vapeur dans le double fond et dans le serpentin ; l'ébullition se manifeste bientôt. Les vapeurs produites dans la chaudière, s'élèvent dans la capacité B, et passent dans le tuyau U, qui les conduit au condenseur V. Ce dernier est formé d'un serpentin renfermé dans un cylindre en tôle EE, ouvert par le haut et par le bas ; la vapeur circule dans le serpentin, et elle est condensée par le sirop ou jus du réservoir Y qui tombe sur sa surface ; en ouvrant le robinet *q'*, ce sirop se rend par le tuyau F', dans le manchon G' fermé par les deux bouts, et enveloppant le tuyau U ; après s'y être échauffé, il passe, par le tuyau H' et par les tuyaux I', I', dans un vase annulaire percé d'un grand nombre de petits orifices qui le distribuent sur le serpentin. La portion de sirop non évaporé est reçue dans le vase annulaire A', A', qui la ramène dans un réservoir inférieur par un tuyau garni du robinet *v*.

Lorsque ces appareils sont établis dans des raffineries, on remplace le jus simplement par de l'eau.

Le cylindre enveloppant donne à l'air une grande vitesse et accélère beaucoup l'évaporation. L'eau provenant de la condensation des

vapeurs dans l'intérieur du serpentin se rend dans le vase C, d'où elle s'échappe par le tuyau de décharge D′ muni du robinet *s*. On peut l'évacuer à volonté, sans laisser rentrer l'air dans l'appareil et sans suspendre le travail de la vaporisation dans la chaudière ; pour cela, on ferme le robinet *u*, on met la capacité C en communication avec la chaudière à vapeur, et on ouvre le robinet de décharge *s* ; lorsque l'eau est écoulée, on ferme le robinet *s* et on ouvre le robinet *u*. Au-dessous de la chaudière A est un cylindre O destiné à recevoir le sirop cuit, lorsqu'on ouvre le robinet H ; le vide y est fait préalablement par la vapeur. Dans les raffineries où l'on emploie de l'eau pour condenser la vapeur, celle qui sort du serpentin suffirait au besoin.

On voit, d'après ce qui précède : 1° que s'il n'y avait pas de pertes par les robinets et les ajutages, le vide une fois produit dans l'appareil se maintiendrait indéfiniment, et qu'à chaque opération il suffirait de faire le vide dans le cylindre O et dans le réservoir C, ce qui consommerait un volume de vapeur égal à trois ou quatre fois seulement le volume du sirop avant la cuite ; 2° que, dans les raffineries, on ne consommera pas d'eau pour la condensation ; 3° que, dans les fabriques de sucre indigène, on pourra employer la condensation de la vapeur à évaporer du sirop déféqué, ce qui doublera à peu près l'effet utile du combustible.

Mais ces résultats ne sont pas complétement atteints dans la pratique, et l'on a été conduit à entretenir le vide avec une pompe à air, comme nous allons le voir dans la disposition suivante adoptée par MM. Derosne et Cail, et employée plus spécialement dans les fabriques de sucre.

1644. *Appareil de M. Degrand, modifié par MM. Derosne et Cail.* — Cet appareil est une combinaison de ceux d'Howard et de Degrand ; le vide est produit et maintenu dans la chaudière par une pompe à air, et la vapeur est condensée par la transmission de la chaleur, à travers la paroi d'un serpentin, à un liquide qui s'évapore par un courant d'air. Les figures 370 et 371 représentent une coupe verticale et une projection horizontale de la partie de l'appareil qui se trouve à la suite de la chaudière. Celle-ci d'ailleurs est disposée comme toutes celles qui évaporent dans le vide ; seulement le dôme qui la surmonte renferme une soupape destinée à établir ou à intercepter la communication avec le reste de l'appareil, au moyen d'un levier et d'une tige passant à travers une boîte à étoupes. C, tuyau d'écoulement des vapeurs de la chaudière ; D, cylindre dans lequel

les vapeurs sont projetées de haut en bas et où s'arrête le liquide entraîné ; la hauteur de ce liquide est indiquée par un niveau *n*, et il peut être extrait par un robinet *r*, placé à la partie inférieure, lorsque le vide n'existe pas dans l'appareil ; E, E, tubes destinés à conduire les vapeurs dans les deux serpentins F, F, formés chacun d'un tube replié sur lui-même dans un plan vertical et fixé dans un châssis en bois ; G, G, tuyaux placés à la suite des serpentins et qui établissent la communication avec la pompe aspirante ; H, H, réservoirs du liquide froid, placés au-dessus des serpentins et dont le liquide s'écoule par un grand nombre de petits orifices distribués

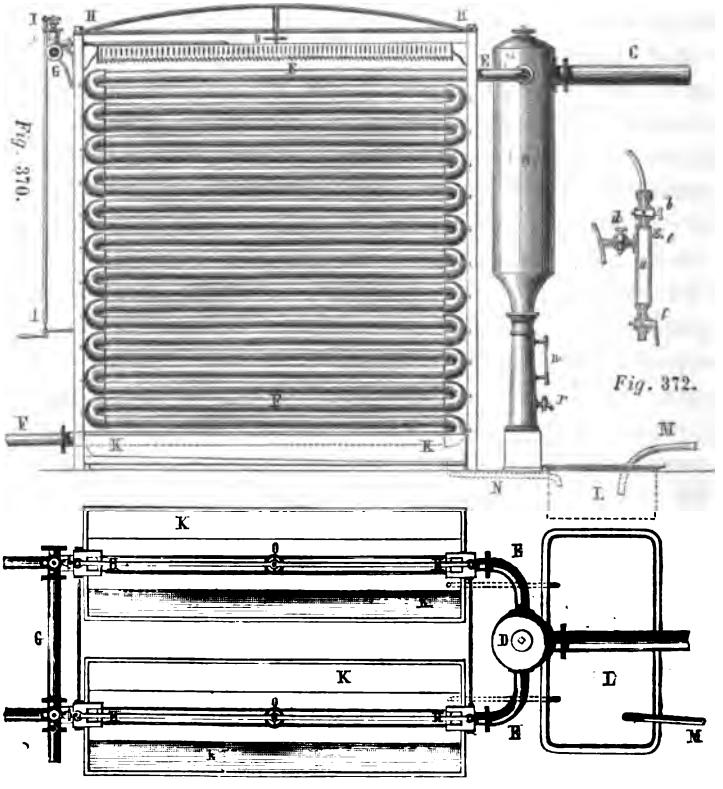


Fig. 371.

sur toute leur longueur ; les plaques dans lesquelles sont percés les orifices sont terminées en bas par une ligne dentelée afin de répandre uniformément le liquide ; es robinets d'alimentation des réservoirs H se manœuvrent au moyen d'une manette à la portée des ouvriers

et d'une tringle I, I ; K, K, réservoirs du liquide écoulé sur les serpentins. Dans les fabriques de sucre indigène, le volume du sirop qui s'écoule sur les serpentins est réduit à peu près à moitié, il est conduit dans le réservoir L, d'où il est appelé dans la chaudière par le tuyau M ; il y est concentré de manière à indiquer 26 à 28° à l'aréomètre de Baumé, densité que le sirop doit avoir pour la seconde filtration ; on peut également alimenter la chaudière avec du sirop qui a été filtré une première ou une seconde fois.

La figure 372 est une coupe, à une plus grande échelle, d'un petit appareil destiné à prendre du sirop dans la chaudière, sans établir de communication avec l'extérieur. *a* est un cylindre qui communique avec la partie supérieure et la partie inférieure de la chaudière par des tubes garnis des robinets *b* et *d*, et avec l'extérieur par les robinets *c* et *e;* en ouvrant les deux premiers, le cylindre *a* se remplit du liquide de la chaudière ; et en ouvrant les deux autres, on peut le recevoir dans une éprouvette pour en constater la densité.

1645. Le moyen si ingénieux de condensation inventé par M. Degrand, après avoir été fréquemment employé, surtout aux colonies, est aujourd'hui à peu près complétement abandonné, malgré l'économie presque de moitié obtenue sur la consommation de vapeur. Cela tient à ce que l'effet varie avec la température de l'air extérieur et avec l'épaisseur de la couche de dépôt qui se forme sur les tuyaux ; de plus, le sirop, par son contact avec l'air, subit une certaine altération. Aussi beaucoup de manufacturiers, ayant de l'eau à leur disposition, préfèrent-ils dépenser plus de vapeur pour le chauffage, et avoir des appareils à simple effet en condensant par injection comme dans l'appareil d'Howard. Le condenseur peut affecter beaucoup de formes ; la suivante a été adoptée par MM. Cail et compagnie. AB (*fig.* 373) est un cylindre de fonte séparé en deux parties par une cloison CD, qui porte un tube FF ouvert par les deux bouts ; les vapeurs de la chaudière arrivent par la tubulure G ; le liquide entraîné se rassemble autour du tuyau FF, un tube de niveau en indique la hauteur ; les vapeurs descendent par le tube FF, dans lequel se fait une injection d'eau froide ; une autre injection a lieu au-dessous de CD ; les vapeurs non condensées et l'air s'é-

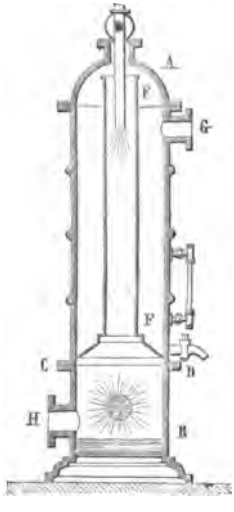


Fig. 373.

chappent par la tubulure H pour se rendre dans la pompe aspirante.

1646. Les chaudières à cuire dans le vide employées actuellement présentent des dispositions un peu différentes de celles que nous avons décrites ; l'ensemble se compose d'une chaudière cylindrique terminée, haut et bas, par deux calottes sphériques, cette chaudière communique avec un *vase de sûreté* analogue à celui du n° précédent, et que nous décrirons dans le chapitre suivant à propos du *triple effet ;* ce vase de sûreté est destiné à recueillir les mousses et les portions de sirop entraînées par l'ébullition, et à leur faire faire retour dans la chaudière ; à sa base se trouve une injection d'eau et la communication avec une pompe à air. Nous nous bornerons à décrire ici en détail la chaudière proprement dite ; elle est représentée en élévation et en coupe dans les figures 374 et 375. Elle contient

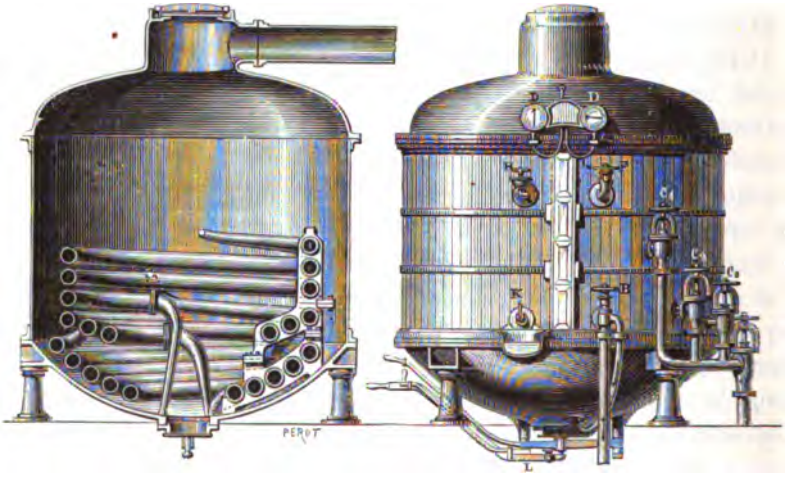


Fig. 374. *Fig.* 375.

trois serpentins indépendants figurés dans la coupe, ces serpentins sont chauffés intérieurement au moyen de vapeur à 5 atmosphères; pour un traitement journalier de 1500 hectolitres de jus on emploie une chaudière ayant $2^m,30$ de diamètre; le corps cylindrique a $1^m,60$ de hauteur, la calotte inférieure a 0^m, 60 de flèche et la calotte supérieure $0^m,96$; les serpentins sont en cuivre de 125 millimètres de diamètre intérieur. Le premier serpentin est formé de quatre spires et demie présentant une surface de chauffe de 7^{mq}, 46; le deuxième serpentin est formé de trois spires dont la surface est 4^{mq}, 74 ; le

troisième a aussi trois spires et sa surface de chauffe est de 6^{mq}, 10. La surface totale de chauffe est donc de 18^{mq}, 24.

Le jus déjà concentré à 20° Baumé est introduit dans la chaudière par le tube A muni d'une soupape B, la vapeur pénètre dans les serpentins par les trois tubes munis de soupapes C, C_1, C_2. Des glaces épaisses sont disposées dans toute la hauteur de façon à apercevoir ce qui se passe à l'intérieur de la chaudière ; pour y arriver d'une manière plus certaine, on dispose de l'autre côté de la chaudière une lunette formée d'une glace épaisse, éclairée extérieurement au moyen d'un bec de gaz ; deux manomètres D,D sont placés à la partie supérieure de la chaudière, l'un est un indicateur du vide dans la chaudière, l'autre donne la pression dans les serpentins ; F est un robinet qui sert à faire rentrer l'air dans la chaudière quand on veut la vider ; H est un robinet qui permet d'introduire dans l'appareil une certaine quantité de graisse ou de beurre lorsque la mousse se produit en trop grande abondance ; K est une sonde cylindrique présentant une petite cavité, qui se remplit de liquide quand on enfonce la sonde et qui permet de faire l'épreuve de la masse cuite. L est la soupape de vidange de la chaudière ; elle est formée d'une simple plaque qui s'applique par un glissement latéral sur son siége parfaitement plané, le serrage se fait ensuite au moyen d'un second levier à coin ; l'emploi de ce mode de fermeture par glissement latéral est déterminé par la présence dans la masse cuite des cristaux de sucre qui s'opposeraient à la fermeture exacte d'une soupape agissant par application directe.

La chaudière est garantie contre le refroidissement extérieur par une enveloppe en bois.

La contenance utile de la chaudière que nous avons décrite est de 60 hectolitres, c'est-à-dire qu'on retire à chaque opération 60 hectolitres de masse cuite ayant en moyenne la composition suivante :

Sucre.....	76,85	100,00
Cendres ou sels.....	6,07	
Eau.....	17,08	

Cette masse cuite marque environ 46° Baumé et pèse 150 kilogr. par hectolitre ; le poids des 60 hectolitres est donc de $60 \times 150 = 9000$ kilogrammes renfermant $\frac{9000 \times 76.85}{100} = 6916^k, 50$ de sucre et $\frac{9000 \times 17.08}{100} = 1537^k,20$ d'eau.

Or le sirop à 20° Baumé sortant du triple effet contient :

Sucre.....	30,00	100,00
Cendres.....	2,16	
Eau.....	57,84	

Il en résulte donc que la quantité d'eau que renfermait le sirop à 20° introduit dans la chaudière est égale à :

$$\frac{6916,50 \times 67,84}{30,00} = 15640^{k},5.$$

La durée de la cuite étant de 12 heures en moyenne, on voit que la quantité d'eau évaporée en 12 heures est de $15640^{k}, 5 - 1537^{k},2 = 14103^{k}, 3$; or l'ébullition se fait dans la chaudière à la température de 70°, la température de la vapeur dans le serpentin est de 152°, la différence est donc de 82° ; la surface de chauffe étant de $18^{mq}, 24$, cela revient à une surface de chauffe de $18,24 \times 82 = 1495^{mq}, 68$ avec un excès de température de 1° ; la quantité d'eau évaporée en une heure est de $\frac{14103,3}{12} = 1175^{k}, 3$; et, par suite, la quantité d'eau évaporée dans l'appareil par mètre carré de surface de chauffe, par heure, et pour un degré de différence de température est de :

$$\frac{1175,3}{1495,68} = 0^{k},78.$$

Pour calculer la quantité de vapeur qui se condense dans le serpentin, observons qu'il a fallu échauffer les 9000 kilogrammes de masse cuite de 60° environ et, par suite, fournir pour ce travail $9000 \times 60 = 540000$ calories ; de plus l'évaporation à 70° des $14103^{k}, 3$ d'eau pris à 10° environ a exigé une quantité de chaleur représentée par $14103, 3\ (606, 5 + 0, 305 \times 70 - 10) = 8713723$ calories, soit en totalité 9253723 calories ; si l'on admet que l'eau du condensateur quitte la chaudière à une température intermédiaire à celle de la vapeur et à celle du jus, soit 110° environ, la quantité de chaleur cédée par chaque kilogramme de vapeur condensée sera $606,5 + 0,305 \times 152 - 110 = 542, 86$; la quantité de vapeur totale condensée sera $\frac{9253723}{542,86}$ et comme le chauffage se fait pendant 12 heures avec un excès de température de 82° et par une surface de chauffe de $18^{m},24$, la quantité de vapeur condensée par heure, par

mètre carré et pour un degré d'excès de la température sera :

$$\frac{9253723}{542,86 \,.\, 12 \,.\, 82 \,.\, 18,24} = \frac{9253723}{9743340} = 0^{k},95.$$

Si l'on tient compte des pertes de chaleur faites par la surface externe de la chaudière, il est probable que la condensation sera au moins égale à 1 kilogramme par mètre carré, par heure et par degre d'excès de la température.

CHAPITRE VIII

Appareils d'évaporation dans lesquels la chaleur est employée plusieurs fois.

1647. D'après ce que nous avons dit à l'occasion de la distillation, on conçoit facilement que la même chaleur puisse être plusieurs fois employée, et que les appareils de distillation à effets multiples, dont nous avons parlé (1520 et suiv.), soient applicables à la concentration des dissolutions. L'appareil de M. Degrand, que nous avons été conduits à décrire précédemment (1743), se trouve être un premier exemple du double emploi de la chaleur. Mais dans chaque cas particulier, il y a des conditions à remplir, qui sont quelquefois incompatibles avec un emploi réitéré de la vapeur, ou du moins qui limitent beaucoup le nombre des effets qu'on peut produire.

D'abord, quand l'évaporation doit avoir lieu dans l'air à la température ordinaire ou à une température inférieure à celle de l'ébullition du liquide, l'évaporation se fait par le renouvellement de l'air ; et, dans ce cas, il serait extrêmement difficile d'employer plusieurs fois la chaleur renfermée dans la vapeur, à cause de la difficulté qu'on rencontre dans la condensation de la vapeur mêlée avec l'air. Mais quand le liquide est évaporé dans une chaudière fermée, à une température supérieure à celle de son ébullition dans l'air, ou quand l'ébullition a lieu dans le vide, on peut utiliser plusieurs fois la chaleur dépensée pour la première opération, à la vérité avec des appareils compliqués qui exigent des soins dans leur construction et dans leur usage, mais qui produisent une économie de combustible considérable.

1648. La figure 376 représente une coupe verticale d'un appareil construit, il y a longtemps, par M. Derosne pour concentrer le jus

de betterave, et dans lequel 1 kilogramme de houille évapore de 9 à 10 kilogrammes d'eau. A, B et C sont trois chaudières placées à des hauteurs différentes et chauffées par le même foyer F; le liquide à évaporer est renfermé dans le réservoir D, d'où il s'écoule constamment dans le vase E, et successivement dans les trois chaudières A, B, C, dont il parcourt les fonds en faisant de longs circuits commandés par les nombreuses chicanes dont ces fonds sont garnis; le liquide, après avoir parcouru les trois chaudières, se réunit dans le vase M. Les chaudières sont garnies de couvercles à fermetures hydrauliques, et de tuyaux qui conduisent les vapeurs dans le double fond d'une grande caisse métallique inclinée I I. Ces vapeurs, en

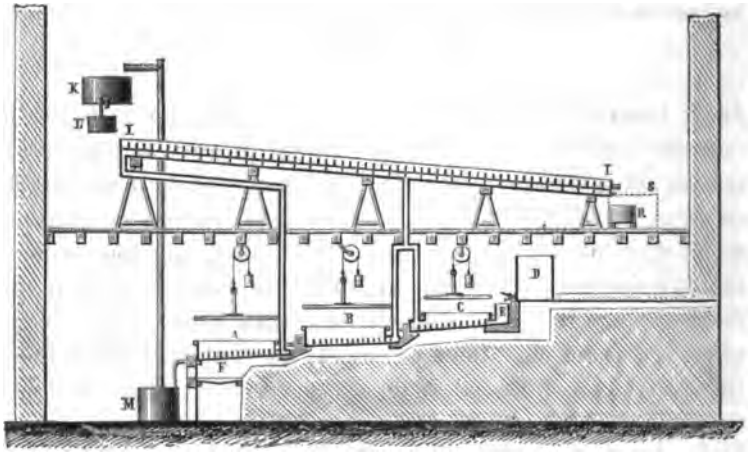


Fig. 376.

parcourant le double fond, se condensent, et les eaux de condensation se réunissent dans le vase R. Le réservoir K verse constamment dans le vase L, et celui-ci dans la partie supérieure de la caisse I, le liquide à concentrer, qui, après avoir parcouru les nombreuses sinuosités de la caisse, se rassemble dans le vase S. Ce dernier alimente le vase D, et le vase M alimente le réservoir K. Cet appareil est complétement abandonné.

1649. La figure 377 représente une disposition qu'on a appliquée, il y a quelques années, pour la concentration des dissolutions de carbonate de soude. L'appareil est composé de trois chaudières A, B, C, placées les unes à la suite des autres et à des hauteurs différentes; la première est placée à nu au-dessus du foyer F ou sur une voûte en briques; la seconde est garnie d'un couvercle à fermeture hydrauli-

que, et les vapeurs qu'elle produit vont se condenser dans un serpentin plongé dans la troisième chaudière. Chacune d'elles est alimentée par la suivante, au moyen des robinets D et E. Pour une consommation de 20 kilogrammes de houille à l'heure, la somme des surfaces

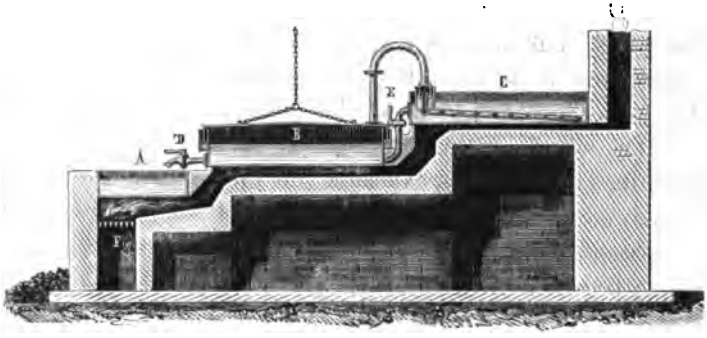


Fig. 377.

de chauffe des chaudières devrait être de 10 ^{mq}, la grille de 0^{mq}, 21, la section des carneaux de 0^{mq}, 07. Par cette disposition on augmente au moins d'un tiers l'effet utile. Dans certaines circonstances, on pourrait aussi utiliser la vapeur produite dans la première chaudière, du moins pendant une certaine partie de la durée de la concentration.

1650. Quand le liquide peut être évaporé dans des vases fermés,

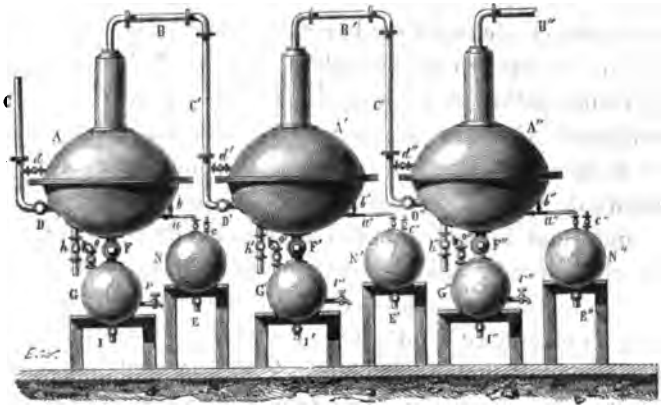


Fig. 378.

on pourrait se servir d'une disposition analogue à celle que nous avons indiquée en parlant de la distillation ; elle est représentée dans

la figure 378. Nous supposerons d'abord que l'évaporation a lieu dans le vide. A, A′ A″ sont trois chaudières à cuire dans le vide, renfermant un double fond, un serpentin et tous les accessoires qui se trouvent dans ces sortes d'appareils. La vapeur produite dans la première se dégage par les tubes B et C′ et se répartit au moyen des robinets *d′* et D′ dans le serpentin et le double fond de la seconde ; la vapeur de la seconde passe de même dans le serpentin et le double fond de la troisième par les tubes B′ et C″ et les robinets d″, D″ ; enfin celle de cette dernière sort par le tube B″ et vient se condenser dans un serpentin exposé à l'air libre comme dans l'appareil de Degrand. F, F′ F″ sont les robinets pour vider les cuites ; G, G′, G″, les réservoirs qui les reçoivent et dans lesquels on fait le vide à chaque opération au moyen des robinets *o*, *o′*, *o″* ; I, I′, I″ les robinets pour vider ces réservoirs ; *a*, *a′*, *a″* et *b*, *b′* *b″* sont les robinets de retour d'eau des doubles fonds et des serpentins ; N, N′ N″, les réservoirs d'eau de condensation ; *h*, *h′*, *h″*, les tubes d'alimentation des chaudières ; *r*, *r′*, *r″*, les robinets d'air.

Le vide étant fait dans l'appareil, les chaudières étant chargées de sirop, la vapeur du générateur arrive dans le double fond et dans le serpentin de la première chaudière, les robinets D, D′, D″ et *d*, *d′*, *d″* étant ouverts, tous les autres étant fermés, et le sirop froid coule sur le serpentin exposé à l'air libre qui se trouve au delà de la chaudière A″. Il est évident que chaque chaudière produira la même quantité de vapeur, puisque la vaporisation de chacune d'elles provient de la chaleur dégagée par la condensation des vapeurs fournies par celle qui précède, en négligeant toutefois la chaleur que renferme l'eau de condensation et la perte de chaleur par le refroidissement des chaudières. Alors, en supposant que toutes les chaudières renferment la même étendue de surface de chauffe, la différence de température de l'ébullition dans les différentes chaudières sera constante ; ainsi tout dépendra de la température de l'ébullition dans la dernière chaudière A″, et de la température de la vapeur du générateur ; si cette dernière température était de 100°, et celle de l'ébullition dans la chaudière A″ de 70°, elle serait de 80° dans la chaudière A′, et de 90° dans la chaudière A. Si l'on voulait qu'elle ne fût qne de 80° dans cette dernière, la température de la vapeur du générateur ayant un excès de 20°, les températures dans les chaudières A′,A″ seraient de 60° et 40°. Mais si les surfaces de chauffe dans les chaudières A′ et A″ étaient deux fois plus grandes que celle de la chaudière A, les températures de A′ et de A″ seraient de 70° et de 60°.

Mais cela suppose que les surfaces de chauffe sont seulement suffisantes dans chaque chaudière, et comme elles sont toujours beaucoup plus grandes, la surface utilisée est variable, et les températures du liquide dans les chaudières seront beaucoup plus rapprochées. La température de la première chaudière dépendra à la fois de la tension qui reste dans le serpentin exposé à l'air libre, du volume et de la température de la vapeur qu'on y introduit ; et comme la température de cette vapeur peut être maintenue constante en faisant tourner plus ou moins les robinets d'introduction dans le double fond et dans le serpentin, ainsi que la quantité de sirop froid qu'on fait tomber sur le serpentin exposé à l'air libre, on pourra obtenir l'effet demandé, soit pour la durée de l'opération, soit pour la température de l'ébullition dans la première chaudière. Quant aux températures dans les autres, il est absolument impossible de les déterminer ; ces températures seront décroissantes, et les différences dépendront de l'étendue des surfaces de chauffe et de la température des eaux de condensation ; mais cela est sans importance : le point essentiel est de produire un effet donné dans un temps donné, la température du sirop dans la première chaudière étant fixée. Nous verrons plus loin que cette disposition peut s'étendre jusqu'à trois chaudières.

Il est bien entendu que l'appareil serait disposé de manière que l'on ne fût obligé de faire le vide qu'une ou deux fois par jour dans les chaudières, mais à chaque opération dans les réservoirs N et G seulement. La rentrée de l'air ayant principalement lieu par les robinets, ils devraient être construits avec beaucoup de soin.

1651. Il y aurait certainement de l'avantage à produire et à maintenir le vide par une pompe à air qui communiquerait avec les réservoirs d'eau de condensation et qui serait mise en mouvement par une machine à haute pression à détente sans condensation ; la vapeur étant ensuite employée au chauffage, la force motrice ne coûterait rien ; on aurait des appareils plus simples ; les rentrées d'air seraient immédiatement réparées ; mais chaque réservoir d'eau condensée devrait communiquer avec la pompe au moyen d'un robinet qui permît de maintenir la pression convenable dans la chaudière correspondante ; celle-ci, par conséquent, devrait être pourvue d'un manomètre.

1652. Si l'on voulait employer des surfaces de chauffe différentes et seulement suffisantes, les excès de température devraient être en raison inverse des surfaces. Supposons trois vases de concentration

et un quatrième pour condenser les vapeurs du dernier, et désignons par s, s', s'', s''' les surfaces de condensation ; par t, t', t'', t''', et T les températures des vapeurs et celle de l'eau renfermée dans le dernier vase de condensation ; par m le poids de vapeur condensée par mètre carré, par heure et par degré de différence de température ; les quantités de vapeur, produites simultanément dans les trois premiers vases et condensées dans le suivant, seront $ms(t-t')$, $ms'(t'-t'')$, $ms''(t''-t''')$, et celle qui est condensée dans le dernier sera $ms'''(t'''-T)$; toutes ces quantités devront être égales, les excès de température devront être constants si les surfaces de chauffe sont les mêmes ; si elles sont différentes, les excès de température s'en déduiront facilement ; et, connaissant t, on en tirera les valeurs de t', t'', t''' ; quant à la quantité de vapeur produite dans chaque appareil, elle se calculera en partant de la valeur de m donnée précédemment (1611 et suiv.). Il est plus avantageux d'employer des surfaces de chauffe égales, parce qu'alors les appareils sont les mêmes, et un excès de surface, pour que l'effet ne diminue pas par l'introduction d'une petite quantité d'air.

La question dont il s'agit est d'une très-grande importance dans toutes les opérations où la quantité d'eau à évaporer est considérable, comme dans les raffineries et les fabriques de sucre.

1653. Un appareil analogue à celui de M. Degrand a été exécuté en Angleterre par John Reynolds, pour la concentration des eaux salées, mais il n'a pas réussi. Les surfaces de condensation étaient formées de tubes d'un petit diamètre, chauffés extérieurement. Ces tubes s'obstruaient par des cristaux de sel. Je pense que les appareils à effets multiples ne peuvent guère être employés pour la concentration des dissolutions salines qu'autant qu'on n'atteindra pas la saturation.

1654. Mais c'est surtout pour la concentration des jus de betterave que l'emploi de ces appareils serait important ; car le rendement des jus étant de 0,08 environ, il faut évaporer 92 kilogrammes d'eau pour obtenir 8 kilogrammes de sucre ; par conséquent chaque kilogramme de sucre exige environ 2 kilogrammes de houille, quand l'évaporation a lieu directement.

1655. Le principe des distillations et des évaporations successives, en employant la même chaleur, paraît avoir été établi et appliqué pour la première fois en 1829 par M. Pecqueur. Plus tard, des appareils ont été construits sur les mêmes principes dans les divers pays manufacturiers, notamment en Amérique, par M. Rillieux, en 1845.

1656. Dans les premières dispositions adoptées par M. Pecqueur en 1829, cet ingénieur employait des appareils analogues à ceux dont il est parlé n° 1625, afin de laisser aux tubes la liberté de changer de forme et de longueur sans que les joints fussent altérés.

Dans son brevet de 1834, l'appareil est disposé comme l'indique la figure 379. L'ensemble des vases évaporatoires forme un cylindre vertical ouvert à la partie supérieure, divisé, par des plaques transversales en cuivre, un peu bombées en dessus, en quatre chambres intérieures A, B, C, D, formant autant de chaudières partielles; celle du bas est chauffée par de la vapeur qui circule dans un double fond ; des tuyaux garnis de robinets établissent des communications d'une chaudière à la suivante, et permettent de les remplir par celle du bas au moyen de la pression de la vapeur, ou par celle du haut par le seul poids du liquide; des robinets de décharge non indiqués dans la figure, excepté pour la première, permettent de les vider. Au-dessous du fond de chacune, se trouve une plaque de cuivre mince, ayant la forme d'une surface de révolution, fixée contre les bords du cylindre, s'abaissant progressivement au delà et se relevant au milieu de manière à s'approcher très-près du fond de la chaudière supérieure, point où elle est percée d'un orifice ; de petits tubes en cuivre viennent aboutir très-près de la partie la plus basse de ces plaques, et se prolongent en dehors, où ils sont garnis de robinets qui communiquent avec l'espace où le vide se produit. Si l'on suppose les quatre chambres A, B, C, D, pleines du liquide à concentrer, le vase supérieur E plein d'eau, le vide établi, et qu'on fasse arriver de la vapeur dans le double fond du vase A, l'ébullition se manifestera bientôt. Les vapeurs viendront se condenser sur le fond du vase B ; et l'eau provenant de cette condensation se réunira dans les parties basses du double fond; le liquide de B entrera en ébullition, et les mêmes phénomènes se produiront successivement dans C et D ; et, après un certain temps, les liquides des vases A, B, C, D se trouveront en pleine ébullition, mais à des températures décroissantes. Cet appareil, bien disposé sous le rapport des

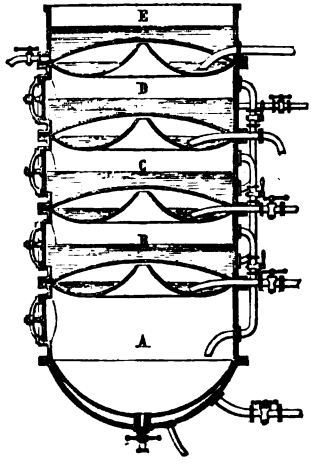


Fig. 379.

principes, laisse beaucoup à désirer sous le rapport des détails. Son principal inconvénient est de ne pas présenter assez de surface de condensation.

1657. M. Pecqueur a proposé depuis, en 1849, un appareil d'une autre disposition, représenté en coupe verticale dans la figure 380. Pour ne pas trop augmenter les dimensions de la figure, j'ai supprimé le second condenseur, qui est identique au premier, et le dernier, qui ne diffère des précédents que par l'absence de la coupole, attendu que le liquide qu'il renferme, et qui est toujours de l'eau pure, est soumis à la pression de l'atmosphère. Voici la description de l'appareil prise dans le brevet.

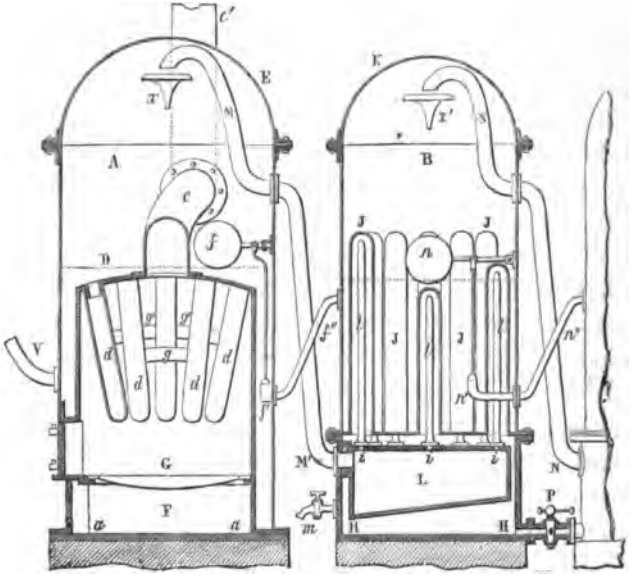


Fig. 380.

« Le générateur se compose d'un cylindre A, monté sur une semelle en fonte *aa* ; d'une cloche D, dont le sommet est percé de trous où sont ajustés des bouilleurs *d*, *d*, *d*, *d*, lesquels sont fermés en bas et ouverts en haut ; du couvercle E, d'une cheminée *ee'*, d'un cendrier F, d'un foyer G ; de deux cloisons *g*, *g'*,*g''* en terre réfractaire, pour obliger la flamme à lécher les surfaces de la cloche et des bouilleurs avant de se rendre à la cheminée ; d'un flotteur *f*, d'une soupape *f'*, d'un tuyau *f''*. Le flotteur, la soupape et le tuyau ser-

vent à faire passer le trop-plein du liquide du générateur au premier concentrateur-condenseur.

« Le premier concentrateur-condenseur se compose d'un cylindre B, d'une cuvette en fonte HH, d'un plateau *ii* percé de trous où sont ajustés hermétiquement les bouilleurs J, J,...; d'un couvercle K; d'une boîte L où vient se rendre, par le tuyau MM', la vapeur qui se forme dans le générateur; à la partie supérieure de cette boîte sont ajustés autant de petits tubes *l*, *l*,... qu'il y a de bouilleurs J; ces tubes montent presque jusqu'au haut de ces bouilleurs, où ils sont ouverts; d'un petit robinet *m* pour retirer le liquide qui, entraîné par la vapeur, viendrait se déposer dans la boîte L; du flotteur *n*, de la soupape *n'* et du tuyau *n''*, qui servent à faire passer le liquide du premier concentrateur-condenseur dans le second.

« Le deuxième concentrateur-condenseur (non indiqué dans la figure) est semblable au premier. S'il y en avait un troisième, un quatrième, ils seraient également semblables au premier.

« Les couvercles du générateur et des concentrateurs-condenseurs se ferment avec des griffes en place de boulons, pour être promptement et facilement ouverts et refermés, afin que le nettoyage prenne le moins de temps possible. Pour empêcher que les flocons lancés par le liquide en ébullition dans le générateur et dans les concentrateurs-condenseurs ne se trouvent entraînés avec la vapeur dans les tuyaux M, M, etc., je place sous les ouvertures de ces tuyaux les espèces d'entonnoirs à bords renversés *x*, *x'*.....

« Le réfrigérant est semblable aux concentrateurs-condenseurs; seulement on n'a pas besoin de couvercle, lorsqu'il s'agit de la concentration des sirops ou de la distillation des liquides spiritueux.

« On peut appliquer cet appareil à la concentration continue des sirops dans le vide. Le suc entre dans l'appareil par l'effet de son poids ou d'une pompe, au moyen du tuyau V ajusté sur le cylindre A, et en sort après avoir passé dans le générateur, dans le premier et dans le deuxième concentrateur-condenseur, et s'être concentré d'une certaine quantité dans chacun.

« Le degré de concentration qu'on veut donner au sirop se règle par la quantité plus ou moins grande de jus qu'on fait entrer dans l'appareil.

Lorsque le jus remplit le générateur jusqu'à la ligne ponctuée, le surplus soulève le flotteur *f*, ouvre la soupape *f'* et passe dans le premier concentrateur-condenseur; et, lorsqu'il remplit ce dernier à la hauteur du flotteur *n*, le surplus soulève le flotteur, ouvre la

soupape n' et sort de l'appareil n''. Il résulte de cette disposition que les niveaux du liquide à concentrer se maintiennent toujours à la hauteur déterminée par la position des flotteurs.

« Le feu étant allumé, on fait bouillir le sirop renfermé dans le générateur. La vapeur qui s'en dégage passe par les tuyaux M, M et arrive dans la cuvette L, d'où elle est portée en haut des bouilleurs J, J,... par les petits tubes l, l,... et chauffe les bouilleurs, qui, à leur tour, chauffent le jus contenu dans le premier concentrateur. Cette vapeur se condense et tombe en eau dans la cuvette H. La vapeur formée dans le premier concentrateur-condenseur passe par les tuyaux N, N' dans la boîte L' (1) et chauffe les bouilleurs J', J',..., en commençant par leur sommet au moyen des petits tubes l', l'.... Cette vapeur se condense et tombe en eau dans la cuvette H'.

« La vapeur qui se forme dans le deuxième concentrateur-condenseur passe par un tuyau dans la boîte L'' du réfrigérant, et chauffe les bouilleurs J'', J'',..., en commençant par leur sommet, au moyen des petits tubes l'', l''.... Cette vapeur se condense et tombe en eau dans la cuvette H''.

« Une pompe à air, en communication avec la cuvette H'', établit le vide dans cette cuvette, ainsi que dans le haut du deuxième concentrateur-condenseur. Comme la pression est plus grande dans la cuvette H que dans la cuvette H', et plus grande dans cette dernière que dans la cuvette H'', il ne faut qu'ouvrir un instant le robinet P pour faire passer dans la cuvette H' l'eau et l'air contenus dans la cuvette H, et qu'ouvrir un instant le robinet P' pour faire passer dans la cuvette H'' l'eau et l'air contenus dans la cuvette H'. L'eau froide arrive dans le réfrigérant par le bas, et en sort chaude par le haut. La sortie du sirop du deuxième concentrateur-condenseur, dans lequel le vide existe, ne peut s'opérer que par une pompe aspirante ou par deux récipients dans lesquels le vide pourrait être établi à volonté.

« Je préfère l'emploi de deux récipients, qui seraient tour à tour mis en rapport avec le deuxième concentrateur-condenseur. Au moyen d'un robinet à trois eaux, on mettra successivement chaque récipient en rapport avec le deuxième concentrateur, afin que l'un se remplisse tandis que l'autre se videra.

« Chaque récipient sera muni, à sa partie inférieure, d'un robinet,

(1) Comme nous l'avons déjà dit, le deuxième concentrateur-condenseur est identique au premier; les parties semblables sont indiquées par les mêmes lettres accentuées. Il en est de même pour le troisième concentrateur-condenseur.

pour qu'on puisse le vider. Ils seront, par leur partie supérieure, en double communication, d'une part, avec la partie supérieure du générateur au moyen d'un tuyau et d'un robinet ; de l'autre, avec la cuvette H″, aussi au moyen d'un tuyau et d'un robinet. Ainsi, pour vider le sirop contenu dans l'un des récipients pendant que l'autre se remplit, il ne faudra que fermer le robinet qui correspond à la cuvette, ouvrir le robinet d'en bas et ouvrir celui qui correspond au générateur : aussitôt le sirop, pressé par la vapeur, coulera avec force, et l'on saura que le récipient est vidé quand la vapeur sortira. Chaque récipient sera muni de verres pour qu'on puisse voir dans son intérieur quand il sera assez rempli, afin que le sirop ne puisse jamais être aspiré dans la cuvette.

« Tel est l'appareil à concentrer les sirops pour produire un triple emploi de la même chaleur, ce qui économisera les deux tiers du combustible.

« Il ne faudrait qu'ajouter ou retrancher un concentrateur-condenseur pour en faire un appareil à quatre ou à deux emplois de la même chaleur, ce qui économiserait la moitié ou les trois quarts du combustible. »

La disposition générale de l'appareil est bien d'accord avec les phénomènes physiques qui se produisent ; mais, au point de vue mafacturier, il présente les plus graves inconvénients. La première chaudière A, chauffée à feu nu, est d'un nettoyage à peu près impossible, et les autres, bien qu'à un degré moindre, présentent le même inconvénient.

1658. Dans un brevet américain accordé à M. Rillieux en 1845, se trouve la description d'un appareil d'évaporation, par la condensation de la vapeur, construit d'après les principes que nous venons d'exposer. Cet appareil ressemble à une chaudière de locomotive ; seulement les deux boîtes qui se trouvent aux extrémités des faisceaux de tubes, sont occupées, la première par la vapeur qui doit être condensée, et l'autre par l'eau condensée ; l'espace qui environne les tubes est rempli du liquide à concentrer ; les vapeurs qui proviennent de l'ébullition passent d'abord dans le dôme de la chaudière d'où elles s'écoulent par un large tuyau pour traverser les tubes de la chaudière suivante. Les dispositions employées pour faire circuler les vapeurs, les liquides à concentrer et les eaux de condensation, ne présentent rien de particulier. Cette disposition ne laisse pas que d'être compliquée, et elle conserve le principal inconvénient de l'ap-

pareil Pecqueur, consistant dans la difficulté d'enlever les dépôts, car le nettoyage est loin d'être facile.

1659. Dans un brevet pris en 1850, MM. Cail et Cie ont donné la description d'une nouvelle disposition de condensateur, semblable à celui dont nous venons de parler, mais dans lequel les tuyaux de condensation sont placés verticalement. Elle ne me paraît guère plus avantageuse que la première.

1660. La disposition adoptée par M. Robert, dans sa fabrique de sucre, à Seelowitz, près de Brunn (Autriche), nous paraît préférable. Elle consiste en une chaudière verticale, divisée en trois parties par deux cloisons horizontales, réunies par un grand nombre de tubes verticaux ; le liquide à évaporer remplit une partie du compartiment supérieur, les tubes, et tout le compartiment inférieur, tandis que la vapeur circule dans l'intervalle des tubes. Sous le rapport des frais de construction résultant de la multitude des joints, cette disposition a les mêmes inconvénients que les précédentes ; mais les surfaces intérieures des tuyaux, ainsi que la chaudière, se nettoient évidemment avec une grande facilité, et il ne peut rien se déposer à la surface extérieure des tuyaux, puisqu'ils ne sont touchés que par la vapeur.

Quant à la marche des opérations, les brevets de M. Pecqueur ne renferment que des idées parfaitement justes ; mais il n'en est pas de même de ceux qui ont été pris depuis. Ainsi M. Rillieux avait admis que les surfaces de condensation de la vapeur devaient augmenter rapidement à mesure qu'on s'éloignait rapidement de la première chaudière. Son appareil était composé de trois chaudières, et les vapeurs produites dans la première se condensaient à la fois dans les deux autres, effet qui ne pouvait évidemment avoir lieu qu'autant que les liquides de ces deux chaudières pouvaient entrer en ébullition à la même température ; et cependant M. Rillieux y plaçait des liquides de densité différente. D'après cela l'appareil n'était réellement qu'à double effet, et seulement à triple effet en alimentant la première chaudière avec la vapeur sortant d'une machine à haute pression sans condensation, et en comptant l'effet de la vapeur produit par la machine.

Ces observations s'appliquent exactement à l'appareil de MM. Cail et Cie. D'après ces constructeurs, si une première chaudière d'évaporation, chauffée à feu nu ou par la vapeur à haute pression, bout à 100° et chauffe par sa vapeur une seconde chaudière, et celle-ci une troisième, et si le vide est maintenu dans la seconde chaudière à

0m, 19 de mercure (ce qui correspond à 65° pour la température de son ébullition), et dans la troisième à 0m, 70 de mercure (ce qui correspond à 45° pour la température de l'ébullition), la surface de chauffe de la première étant représentée par 1, celle de la seconde sera 5, et celle de la troisième 20. D'abord l'effet de la première, si elle est chauffée à feu nu, ne peut pas être comparé à ceux des deux autres, parce qu'il dépend de l'intensité du foyer et qu'il peut varier dans de fortes proportions, depuis 20 kilogrammes jusqu'à 50 kilogrammes de vapeur par mètre carré et par heure ; il ne pourrait leur être comparé qu'autant que le chauffage aurait lieu par de la vapeur dont on connaîtrait la température. Quant aux deux autres, les excès de température sont 100 — 65 = 35° et 65 — 45 = 20° ; ainsi, dans ces circonstances, les surfaces de chauffe devant être en raison inverse des excès de température, la troisième surface devrait être à la seconde dans le rapport de 35 à 20 ou de 1, 75 à 1, et non pas dans celui de 20 à 5 ou de 4 à 1. L'appareil dont il est question n'est réellement qu'à double effet ; car les vapeurs de la première se rendent simultanément dans la seconde et dans la troisième. Enfin les deux dernières chaudières communiquant avec la pompe à air par le même tuyau, il s'y produit nécessairement la même détente, et les liquides ne peuvent y entrer en ébullition qu'à la même température, et à la condition d'avoir le même degré de concentration ; cependant d'après la description, la seconde chaudière pourrait concentrer le sirop jusqu'à 25° Baumé, et la troisième pourrait l'amener de 25° au point de cuite. Il résulte évidemment de ce que je viens de dire que M. Rillieux, l'inventeur de l'appareil, ne s'est pas complétement rendu compte des phénomènes physiques qui s'y produisent.

1661. En résumé, c'est M. Pecqueur qui, le premier, a établi les vrais principes de la distillation et de l'évaporation à effets multiples et qui en a fait le premier l'application.

1662. En Allemagne, on emploie encore actuellement des appareils à effets multiples disposés d'après le principe de Rillieux; les chaudières sont cylindriques et horizontales ; elles sont pourvues d'un faisceau tubulaire horizontal recevant la vapeur ; le liquide à évaporer entoure le faisceau tubulaire ; les tubes s'encrassent; on a dû imaginer un système pour les rendre amovibles afin de permettre le nettoyage. Ce sont là des conditions qui rendent l'entretien des appareils difficile ou du moins pénible.

1663. En France, on emploie exclusivement des chaudières cylindriques verticales terminées par des calottes sphériques en haut et

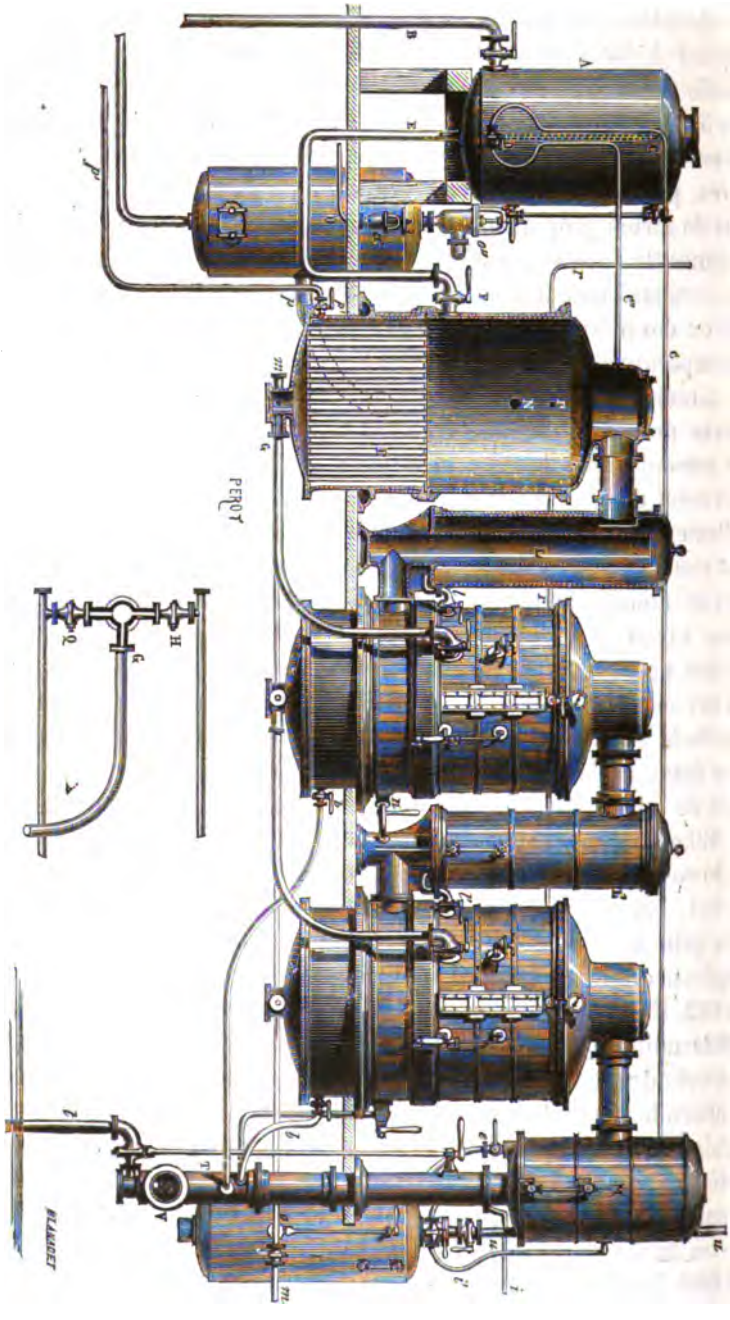


Fig. 381 et 382.

en bas, elles sont établies d'après les conditions générales de celles de M. Robert. Nous donnons, figure 381, la disposition générale d'un appareil à triple effet présentant les conditions réalisées par les meilleurs constructeurs.

A est un réservoir servant à fournir le jus à la première chaudière ; le jus arrive dans ce réservoir par un tuyau B, lorsqu'on le met en communication avec le condenseur par le tuyau C C′ sur lequel se trouve le robinet D, à trois voies; en tournant convenablement le robinet D, on met le réservoir en communication avec la première chaudière par le tube C C″, et l'on peut alors remplir cette chaudière au moyen du tube M F muni du robinet F.

Les trois chaudières sont disposées de la même façon ; dans la figure, la première chaudière est coupée et laisse voir le faisceau tubulaire, les autres sont vues extérieurement. Chaque chaudière est formée d'un corps cylindrique en fonte, présentant à l'intérieur deux diaphragmes horizontaux en cuivre jaune dans lesquels viennent s'ajouter les tubes aussi en cuivre jaune ; à la partie inférieure, la chaudière est fermée par une calotte sphérique munie d'une tubulure à plusieurs branches, représentée en plan figure 382 ; l'une de ces branches G mène le jus par le tuyau G F′ de la première à la seconde chaudière ; la seconde H sert à vider la chaudière en cas d'accident et à mener par un tube horizontal *m m′*, le contenu de cette chaudière dans le monte-jus I en fermant le robinet J et ouvrant le robinet K. La troisième branche Q sert à faire écouler les eaux de lavage qui ont servi à nettoyer la chaudière et l'intérieur des tubes, eaux de lavage qu'on introduit par un tube *r* branché à la partie supérieure de la chaudière. La tubulure de la troisième chaudière manque de la branche G et la branche H se trouve régulièrement mise en communication avec le monte-jus T pour la vidange de cette troisième chaudière. A la partie supérieure, la calotte sphérique qui ferme la chaudière est surmontée d'un dôme muni d'un trou d'homme et d'une large tubulure latérale qui mène les vapeurs formées dans la chaudière dans un vase de sûreté L pour la première et la seconde chaudière, et dans le condenseur M pour la troisième.

Chaque chaudière est munie d'un tube à niveau, d'un indicateur du vide, d'un robinet à graisse, d'un robinet d'épreuve, et de lunettes N.

La vapeur d'échappement des différentes machines se réunit dans un ballon O, muni d'une soupape O″ qui permet de laisser échapper la vapeur quand l'appareil à triple effet ne consomme pas toute la vapeur

envoyée et que la température tend à dépasser 108°, et d'une autre soupape O′ qui permet d'introduire de la vapeur venant directement des chaudières quand la vapeur d'échappement est en quantité insuffisante ; ce ballon est muni d'un trou d'homme pour le nettoyage et d'un retour d'eau. La vapeur passe du ballon O dans la première chaudière par le tube *p* muni d'un robinet ; elle circule autour du faisceau tubulaire P et l'eau condensée est envoyée par le tuyau *p′* dans le ballon qui reçoit les eaux de condensation et où vient puiser la pompe alimentaire des générateurs.

Le vase de sûreté L est divisé au moyen d'une cloison cylindrique en deux parties ; l'une formant une capacité annulaire et dans laquelle se dépose le jus entraîné par l'ébullition, un tube à niveau permet de juger de la quantité de jus qui s'est ainsi rassemblée ; à un moment convenable, il est envoyé dans la seconde chaudière par le tube *l* muni d'un robinet, l'autre est le tube L parcouru par la vapeur provenant de la première chaudière et qui circule autour du faisceau tubulaire de la seconde ; la vapeur en excès peut passer par le tuyau *n* dans le pied du vase de sûreté L′ qui suit la seconde chaudière ; le liquide qui s'est rassemblé dans le vase de sûreté L′ passe par *l′* dans la troisième chaudière, et la vapeur de la deuxième chaudière qui a traversé ce vase de sûreté vient circuler autour du faisceau tubulaire de cette troisième chaudière ; les eaux de condensation s'écoulent par les tuyaux *d d* et se rendent à la partie inférieure du condenseur. Celui-ci M, à sa partie supérieure, est disposé en vase de sûreté, il reçoit les vapeurs de la troisième chaudière, le liquide entraîné est envoyé par un tube *e* dans le monte-jus T ; un tube à niveau placé sur le condenseur permet de juger du moment où doit se faire cette opération. Ce condenseur se prolonge par un tube cylindrique T à la partie inférieure duquel se fait la condensation des vapeurs ; pour cela le tuyau *t* amène de l'eau froide qui s'échappe à l'intérieur par un tuyau en pomme d'arrosoir *t′* ; une pompe à air aspire à la fois l'air et l'eau de condensation, au moyen d'un tuyau qui vient s'adapter sur la tubulure V.

Sur le monte-jus I, on voit un tube *u* destiné à conduire le jus évaporé dans les bacs qui doivent le recevoir ; le vide se fait dans le monte-jus en le mettant en communication avec le condenseur par le tube *i′* et on obtient la pression en le mettant en communication avec la vapeur par le tube *i*.

Quand la vapeur arrive autour du faisceau tubulaire de chaque chaudière, il tend à se faire un courant direct de l'orifice d'entrée

à l'orifice de sortie, et une portion seulement des tubes se trouve chauffée, ce qui diminue la surface de chauffe et par suite l'effet utile des appareils. La maison Cail et Cie dispose, dans l'intérieur du tambour occupé par le faisceau tubulaire, des cloisons parallèles placées en chicane et forçant la vapeur à parcourir successivement tout l'espace occupé par les tubes. L'établissement de Fives-Lille arrive au même but au moyen de cloisons circulaires. La maison F. Lebanneur et Cie obtient le même résultat en faisant arriver la vapeur par une couronne circulaire disposée autour de la chaudière comme on le voit dans la figure 383. La vapeur pénètre ensuite par une multitude de petits trous percés au pourtour de la paroi de la chaudière. Cette disposition est excellente et répartit parfaitement la vapeur autour du faisceau circulaire. On voit dans la figure un tuyau *a* placé à la partie supérieure de la couronne d'accès de la vapeur, ce tuyau est mis en communication avec le condenseur. Cette disposition a pour but, d'après l'inventeur, d'enlever l'ammoniaque qui se forme dans l'évaporation du jus et qui altère le faisceau tubulaire en cuivre ; l'auteur se fonde sur la faible densité de l'ammoniaque et suppose que ce gaz viendra à la partie supérieure de la couronne où il sera enlevé à travers le tube *a*. C'est là une conclusion inadmissible ; outre que la densité de la vapeur d'eau 0,622 est très-sensiblement égale à celle de l'ammoniaque 0,596, on sait la tendance qu'ont les gaz, même de densité différente, à se mélanger ; dans le cas qui nous occupe, le mouvement constant des gaz facilite encore le mélange et on ne peut pas admettre que ces gaz se séparent. On évite cette formation d'ammoniaque en prolongeant l'ébullition des jus après la carbonatation.

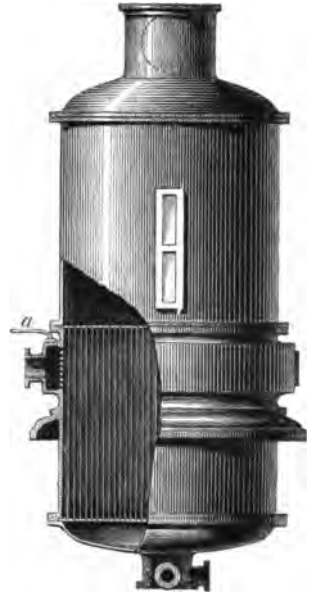


Fig. 383.

Comme nous l'avons vu, les chaudières sont généralement établies en fonte ; on en fait aussi en tôle avec faisceau tubulaire en fer étiré. Les enveloppes en fonte, au moins jusqu'aux dimensions qui répondent à un traitement de 3,000 hectolitres de jus par 24 heures, paraissent présenter sur les enveloppes en tôle un avantage au

point de vue du prix de revient ; elles paraissent de plus résister mieux aux causes d'altération. Quant aux plaques et faisceaux tubulaires en fer, outre la question d'altération plus rapide, il y a lieu de considérer que le cuivre transmet mieux la chaleur que le fer.

Voici les éléments d'un appareil destiné au traitement de 1500 hectolitres de jus par 24 heures.

La première chaudière a $1^m,38$ de diamètre, le faisceau tubulaire a $1^m,25$ de hauteur ; il comprend 340 tubes de $0^m,045$ de diamètre intérieur et de $0^m,05$ de diamètre extérieur, la surface de chauffe est de 60 mètres, la hauteur du corps cylindrique au-dessus du faisceau tubulaire est de $1^m,30$.

La deuxième chaudière a $1^m,52$ de diamètre ; 420 tubes de $1^m,25$ de long forment le faisceau tubulaire qui présente une surface de chauffe de 74^{mq}, la hauteur du corps cylindrique au-dessus du faisceau tubulaire est de $1^m,40$.

Enfin pour la troisième chaudière on a : Diamètre $1^m,66$; longueur du tube $1^m,25$; nombre des tubes 495 ; surface de chauffe 85^{mq} ; hauteur du corps cylindrique au-dessus du faisceau tubulaire $1^m,50$.

Le cylindre de la pompe à air a $0^m,41$ de diamètre, la course du piston est de $0^m,50$; elle donne 45 coups de piston par minute.

La vapeur étant à 108° dans le ballon qui reçoit les vapeurs d'échappement, la tension dans la première chaudière est de $0^m,55$ de mercure et la température de la vapeur qui s'y forme est de 91° ; dans la deuxième chaudière la tension est de $0^m,35$ et la température de 80° ; enfin dans la troisième chaudière la tension est de $0^m,15$ et la température de 60°.

1664. On compte en général un mètre carré de surface de chauffe pour 6 hectolitres 1/2 de jus à traiter par 24 heures et à porter de 4° à 20° de l'aréomètre Baumé.

On peut, d'après les chiffres que nous avons donnés plus haut, calculer la transmission de chaleur qui se fait à travers le faisceau tubulaire.

Si l'on suppose que le jus présente une densité égale à 1,047, il aura sensiblement la composition suivante :

Sucre	8,6	100,00
Cendres	8,2	
Eau	83,0	

Il en résulte que 1500 hectolitres de jus contiennent 130351 kilogrammes d'eau et 13035 kilogrammes de sucre.

Le sirop à 20° Baumé contenant :

Sucre.....	30,00	100,00
Cendres.....	2,16	
Eau.....	67,84	

il s'ensuit que le sirop provenant de 1,500 hectolitres de jus contiendra $\frac{13035 \times 67,84}{30} = 29546$ kilogrammes d'eau.

La quantité totale d'eau évaporée en 24 heures sera donc égale à 130351-29546 = 100805 kilogrammes ; soit 4200 kilogrammes par heure. Or, la surface de chauffe de la première chaudière est de 60^{mq} avec un excès de température de 17°, soit $60 \times 17 = 1020^{mq}$ pour un excès de 1° ; dans la deuxième chaudière la surface de chauffe est de 74^{mq} avec un excès de 11°, soit 814^{mq} pour un excès de 1° ; enfin dans la troisième chaudière la surface de chauffe est de 85^{mq} avec un excès de 20°, soit 1700^{mq} pour un excès de 1° ; la surface totale sera donc de $1020 + 814 + 1700 = 3534^{mq}$ pour un excès de 1° et par suite la quantité d'eau vaporisée par mètre carré, par heure et pour un degré d'excès de la température sera, $\frac{4200}{3544} = 1^{kil},18$.

Quant à la vapeur condensée, il faut ajouter au nombre trouvé 3544 la quantité de vapeur nécessaire pour échauffer le jus de 10° à la température moyenne de 80°, soit de 70° et comme le poids du jus est de 156750 kilogrammes, on doit produire 10972500 calories en 24 heures et par 3534^{mq} de surface de chauffe, ce qui donne $\frac{10972500}{24 \times 3584} = 129$ calories par heure, et comme un kilogramme de vapeur abandonne à peu près 550 calories, la quantité de vapeur condensée en surplus sera de $\frac{129}{550} = 0^{kil},23$; ce qui donne pour la quantité de vapeur condensée par mètre carré par heure et pour un degré d'excès $1^{kil},18 + 0^{kil},23 = 1^{kil},41$.

Quant à la consommation de vapeur nécessaire à la marche de l'appareil, elle se compose de deux parties :

1° Celle qui est nécessaire au réchauffage du jus ; cette opération exige, comme nous l'avons vu, 10972500 calories pendant 24 heures, soit par heure $\frac{10972500}{24}$, et comme un kilogramme de vapeur abandonne en se condensant environ 550 calories, le nombre de kilogrammes de vapeur nécessaire au réchauffage sera $\frac{10972500}{24 \times 550} = 831$ kilogrammes.

2° La quantité de vapeur nécessaire à l'évaporation ; or, la quan-

tité totale d'eau évaporée en 24 heures est de 100805 kilogrammes, et si on admet, comme approximation, que la vapeur produise en effet dans l'appareil un triple effet, 1 kilogramme de vapeur condensée vaporisera 3 kilogrammes d'eau et la quantité de vapeur à fournir pour la vaporisation sera en 24 heures de $\frac{100805}{3}$, et en une heure, de $\frac{100805}{3 \times 24} = 1400$ kilogrammes. La quantité totale de vapeur à fournir sera donc $831 + 1400 = 2231$ kilogrammes par heure; cette quantité ne peut être considérée que comme un minimum, puisqu'on n'a pas tenu compte des quantités de chaleur perdues par les parois des chaudières et des tuyaux de conduite.

1665. Pour réduire encore la quantité de vapeur consommée dans la fabrication du sucre, on remplace quelquefois le condenseur M de l'appareil à triple effet par un *condenseur-réchauffeur de jus* représenté figure 384. Il se compose d'un corps cylindrique A renfermant un faisceau tubulaire dans l'intérieur duquel coule le jus froid que l'on conduit à la carbonatation. Ce jus pénètre dans une caisse inférieure B à 10° environ et sort à une température voisine de 40° par la tubulure C placée à la partie supérieure. Vers le haut, le corps cylindrique est entouré d'une enveloppe D dans laquelle pénètrent les vapeurs de la troisième chaudière du triple effet, le sirop entraîné se dépose dans la capacité D et on peut l'envoyer au monte-jus qui suit le triple effet par le tuyau E muni d'un robinet. Un tube à niveau F sert à indiquer quand cette opération est nécessaire; les vapeurs circulent autour du faisceau tubulaire et se condensent en partie; elles viennent se rendre ensuite dans la capacité G où se fait l'injection et sur laquelle se branche le tuyau de la pompe à air; cette disposition a le double avantage de diminuer la quantité d'eau nécessaire à la condensation et de diminuer la quantité de vapeur qu'on doit employer pour chauffer le jus à la carbonatation. Son effet n'est cependant obtenu d'une façon complète

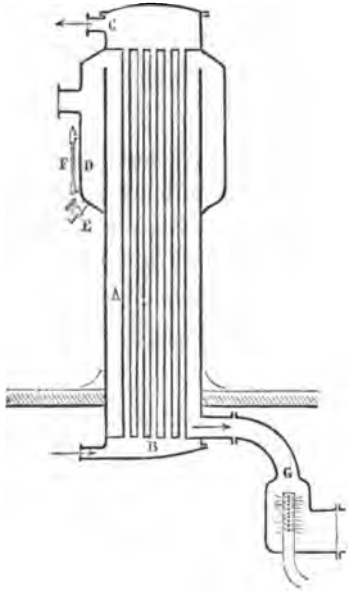


Fig. 384.

qu'à la condition que la surface intérieure des tubes soit entretenue dans un état de propreté parfaite ; il en résulte la nécessité de nettoyages fréquents par suite du dépôt de chaux qu'abandonne le jus déféqué dans son passage à travers les tuyaux ; cette complication du travail fait que beaucoup de fabricants n'utilisent pas le condenseur réchauffeur.

1666. *Évaporation des liquides, en employant, comme moyen de chauffage, la vapeur qui se dégage, après l'avoir comprimée.* — Dans ce qui précède, nous avons indiqué l'emploi de la chaleur de la vapeur pour produire des évaporations successives sous des pressions décroissantes. M. Pelletan a proposé, dès avant 1840, un autre mode d'évaporation qui consiste à aspirer, au moyen d'une pompe, la vapeur qui se produit dans une chaudière fermée, et à la comprimer dans un double fond de manière à élever sa température de plusieurs degrés ; cette vapeur se condense en en produisant de nouvelle dans la chaudière. Si l'eau de condensation en s'échappant échangeait sa température avec le liquide d'alimentation de la chaudière, et s'il n'y avait point de perte de chaleur par les parois, il est évident qu'avec la même quantité de chaleur on pourrait évaporer un poids indéfini d'eau au moyen d'une certaine puissance mécanique. Mais comme l'utilisation de l'eau de condensation présenterait trop de difficultés, on doit compter qu'elle serait abandonnée à 100°. Alors la dépense de chaleur pour évaporer 1 kilogramme d'eau serait seulement de 100 unités, au lieu de 650, et avec 1 kilogramme de vapeur partant d'un générateur, on pourrait évaporer 6^{k}, 5 d'eau. D'après M. Pelletan, on n'aurait dépensé que 1 kilogramme de charbon pour évaporer 30, et même jusqu'à 100 kilogrammes d'eau. Mais cela ne serait évidemment possible qu'autant que l'on ne tiendrait pas compte du travail dépensé pour faire mouvoir les pompes, et que l'eau de condensation, du moins pour le dernier chiffre, ne serait pas abandonnée à 100°. Le travail mécanique employé peut fournir de la chaleur indéfiniment et permet d'obtenir théoriquement l'effet indiqué par M. Pelletan. Mais ce travail ne peut fournir que son équivalent en chaleur et résultera lui-même de l'emploi d'une quantité de chaleur équivalente fournie en général par une machine à vapeur. Mais on sait que la machine à vapeur ne rend en travail qu'une faible fraction de l'équivalent de la chaleur qu'elle a employée, de là l'insuccès d'une pareille méthode. M. Pelletan a aussi proposé de produire la dilatation dans la chaudière et la compression de la vapeur dans le double fond, par un jet de vapeur ; il paraitrait que le premier sys-

tème n'a jamais été essayé. Voici la disposition ingénieuse de l'appareil employé dans le second système.

M (*fig.* 385) est une chaudière à fermeture hydraulique dont le couvercle I I, est équilibré par un contre-poids. Cette chaudière, destinée à la concentration des jus de betterave, est chauffée par un double serpentin G, G, placé au fond. A, A sont les tuyaux d'aspiration des vapeurs formées dans l'appareil ; ils sont munis des robinets *a*, *a ;* les jets de vapeur se produisent par les tubes *b*, *b*, dans les boîtes B, B, pour appeler les vapeurs par les tuyaux A, A et les refouler dans le serpentin par les tubes *c*, *c ;* D, D, prises de vapeur supplémentaires pour la mise en train ; F, F, réservoirs destinés à retenir l'eau entraînée mécaniquement par la vapeur qui arrive du générateur par un tuyau E ; H, tuyau de retour de l'eau condensée. On voit, d'après cette disposition, que lorsque, par une opération préliminaire, on a purgé d'air la chaudière et qu'on ouvre tous les robinets, le jet de vapeur, en s'échappant par la buse *b*, appelle la vapeur qui se forme dans la partie supérieure de la chaudière, la comprime en la lançant dans le serpentin, et que le chauffage a lieu et par cette vapeur et par celle que fournit le générateur. La chaudière sur laquelle on a fait l'expérience que nous allons rapporter avait 1 mètre de largeur sur $2^m,50$ de longueur.

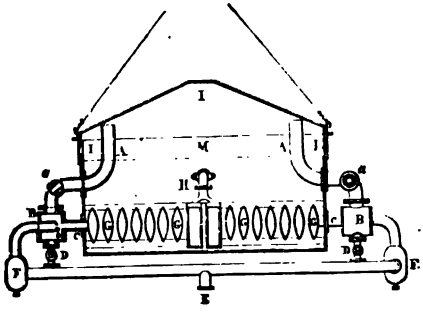


Fig. 385.

On a commencé par expulser l'air de la chaudière et par chauffer l'eau à 100°, en y introduisant directement la vapeur ; ensuite on a fait passer la vapeur dans le serpentin, et on a ouvert les robinets *a*, *a ;* la pression dans le vase F a été maintenue à 5 atmosphères, et à $0^m,873$ en hauteur de mercure dans le serpentin. La quantité d'eau évaporée dans la chaudière a été de $91^k,9$. Dans une première expérience, on avait condensé 40 kilogrammes d'eau dans le serpentin. En admettant que la quantité de vapeur fournie par le générateur était la même dans les deux expériences, il s'ensuivrait que 40 kilogrammes de vapeur auraient évaporé $91^k,9$ d'eau, ce qui donne $\frac{91,9}{60} = 2^k,3$ d'eau par kilogramme de vapeur. La seule manière de

reconnaître l'effet que ce mode d'opération pourrait produire serait de condenser complétement la vapeur à la sortie du serpentin ; le poids de l'eau qu'on obtiendrait ainsi, ajouté à celui de l'eau écoulée du serpentin, représenterait le poids de la vapeur fournie par le générateur et celui de la vapeur d'eau fournie par le liquide à évaporer ; et comme ce dernier poids peut facilement se déduire de l'abaissement du niveau, on trouverait facilement le rapport de la quantité de vapeur employée à celle qui est produite ; jusqu'à ce que l'expérience ait été faite ainsi, on ne peut avoir que des probabilités sur l'efficacité de ce nouveau moyen d'évaporation. Il paraît que ces essais n'ont pas été faits, ou du moins que les résultats n'ont pas répondu aux espérances de l'auteur, car il n'a pas persisté dans ses recherches. Nous n'avons d'ailleurs conservé l'indication de ces essais de M. Pelletan qu'à cause de l'emploi fait à une époque déjà éloignée du principe de l'injecteur soit à la compression soit à la raréfaction des gaz.

1667. Il est encore possible d'utiliser la chaleur qui provient de la condensation des vapeurs pour produire une seconde évaporation, lorsque la température de l'ébullition du second liquide est moins élevée que celle du premier. Il est même des cas dans lesquels cette opération s'exécute avec une extrême facilité. Par exemple, dans les fabriques d'acide acétique, l'acide brut obtenu par la distillation du bois doit être distillé de nouveau pour être séparé d'une partie du goudron qu'il contient ; après quoi on le combine avec de la chaux, et la dissolution d'acétate de chaux doit être concentrée jusqu'à un certain point. Or, cette concentration peut être produite par la chaleur qui se dégage de la condensation des vapeurs dans la distillation de l'acide brut ; et pour cela, au lieu de conduire les vapeurs dans un serpentin, on les fait arriver dans un lait de chaux ; l'acide se combine avec la chaux, et la chaleur qui résulte de la condensation des vapeurs et de la combinaison concentre la dissolution d'acétate de chaux. Ce procédé a été mis en pratique vers 1835 par MM. Thomas et Laurens, et a très-bien réussi.

LIVRE X

SÉCHAGE.

1668. Le séchage a pour objet, comme nous l'avons déjà dit, de dessécher une matière solide, c'est-à-dire d'enlever l'eau qu'elle contient, du moins celle qui peut être extraite sans altérer la matière. Dans certaines circonstances, cette opération peut avoir lieu partiellement par une action mécanique produisant une certaine compression et par suite l'écoulement d'une partie de l'eau que la matière renferme ; mais la dessiccation complète ne peut avoir lieu ainsi, et on l'obtient, soit par l'air à la température ordinaire ou à une température plus ou moins élevée, soit par l'action seule de la chaleur. Quand la dessiccation a lieu à une température très-élevée, elle porte le nom de *torréfaction* ou de *calcination*.

1669. Les matières à dessécher peuvent être en masses plus ou moins volumineuses, ou en menus fragments, et les procédés de séchage sont fort différents suivant les cas. Par exemple, si les matières à sécher sont des fils ou des tissus, on pourra, en les suspendant à des perches ou à des cordes, les espacer de manière que l'air puisse facilement circuler et les dessécher rapidement, soit dans un lieu découvert, à l'air libre, soit dans un espace fermé, par un courant d'air froid ou chaud ; mais, si la matière à dessécher était en poudre, il faudrait renouveler souvent les surfaces, ou donner aux appareils une disposition qui permît à l'air de circuler à travers la matière pulvérulente.

1670. Nous examinerons d'abord le séchage des tissus ; les principes que nous allons établir seront applicables à la dessiccation des fils, du papier, de la colle, etc. ; seulement, pour ces matières, les appareils devraient recevoir des modifications faciles à déterminer dans chaque cas particulier.

CHAPITRE PREMIER

Extraction de l'eau par une action mécanique.

1671. Lorsque les fils et les tissus de différentes natures ont été blanchis et égouttés, on enlève une grande partie de l'eau qu'ils renferment par une action mécanique. Les moyens employés sont le tordage à la main, différentes presses et un appareil appelé *essoreuse*, dont le jeu est fondé sur la force centrifuge. Le tordage à la main est long, pénible et altère les fils et les tissus ; l'action des presses est plus efficace, mais les machines à force centrifuge sont préférables encore, et sont maintenant préférées.

1672. Considérons un vase cylindrique, percé d'un grand nombre de petits orifices ou formé d'une toile métallique à mailles serrées, renfermant un tissu humide ; soumettons-le à un mouvement de rotation très-rapide autour de son axe ; les particules d'eau qui mouillent le corps, sollicitées par la force centrifuge, sortiront par les ouvertures du cylindre. Cet appareil, fondé sur le même principe que le panier à salade, est maintenant employé, non-seulement pour le séchage des fils et des tissus, mais encore dans les raffineries de sucre pour séparer les cristaux de sucre du sirop interposé.

1673. Les essoreuses varient de formes et de dimensions, suivant l'usage auquel on les destine et suivant qu'elles doivent être mises en mouvement par des hommes ou par une machine ; mais elles sont toujours composées de la caisse rotative à jour, d'un système d'engrenage destiné à augmenter la vitesse, et d'une enveloppe en tôle ou en fonte pour recevoir le liquide projeté par l'action de la force centrifuge.

1674. Les essoreuses ne peuvent pas expulser la totalité de l'eau renfermée dans les tissus, qu'on en retire toujours un peu humides, quelque grande qu'ait été la vitesse de rotation ; le séchage s'achève à l'air libre, ou par l'action de la chaleur dans les séchoirs fermés.

1675. Les essoreuses sont très-employées dans les buanderies, pour extraire la plus grande partie de l'eau renfermée dans le linge lavé ; dans les fabriques de sucre pour séparer le sucre du sirop, etc.

1676. Dans des expériences faites par M. Schlumberger, deux hommes, en une heure de travail, ont enlevé 151 kilogrammes d'eau en poussant la dessiccation aussi loin que le permettait l'essoreuse.

En supposant la journée de 10 heures, le prix de la journée de $2^f,50$, le prix de revient de l'extraction de 1 kilogramme d'eau serait de $0^f,00033$. En admettant que 1 kilogramme de houille puisse évaporer 8 kilogrammes d'eau, et en supposant le prix de la houille à 5 francs les 100 kilogrammes, le prix de l'évaporation de 1 kilogramme d'eau par la chaleur serait de $0,05 : 8 = 0,00062$. Ainsi l'action mécanique coûte moins que la chaleur. La différence serait encore plus grande, si l'on avait égard aux frais accessoires qui sont plus considérables dans l'emploi de la chaleur. Cette différence augmenterait encore de beaucoup, si la puissance était produite par la vapeur, car le travail équivalent à celui de deux hommes est un tiers de cheval-vapeur, qui correspond au plus en 10 heures à $\frac{10}{3}$ $13^k,3$ de houille, c'est-à-dire à $0^f,66$ au lieu de 5 francs.

1677. Les quantités d'eau qui restent dans les étoffes après les différentes actions mécaniques dépendent de leur nature et de la puissance de l'action exercée. Il résulte, d'un tableau qui se trouve dans un mémoire de M. Rouget de Lisle (*Bulletin de la Société d'encouragement*, t. L, p. 294), qu'un poids représenté par 1

	de flanelle,	de calicot,	de soie,	de toile de lin,
retient après le tordage un poids d'eau égal à	2	1	0,95	0,75 ;
qu'après l'action d'une presse puissante, ces quantités sont réduites à	1	0,60	0,50	0,40 ;
et qu'après l'essorage elles sont seulement de	0,60	0,35	0,30	0,25.

Pour obtenir ces derniers résultats, la caisse en mouvement ayant $0^m,80$ de diamètre, doit tourner avec une vitesse de 5 à 600 tours par minute.

1678. L'essoreuse généralement employée (fig. 386), dans les établissements de bains et lavoirs publics, consiste en un récipient *g* en fil de fer galvanisé, de forme circulaire, de $0^m,60$ de diamètre sur $0^m,15$ de hauteur, dont le bord supérieur est un peu rentré en dedans. Ce récipient est solidement fixé sur un axe vertical *f*, reposant sur une crapaudine *p* qui est reliée à une enveloppe en

fonte *hh*. L'extrémité supérieure de l'arbre porte un pignon conique *l* commandé par une roue *k* d'un diamètre beaucoup plus grand, montée sur un petit arbre horizontal qui se termine par un pignon droit, commandé par une grande roue. Celle-ci est callée sur un arbre qui peut recevoir le mouvement soit par une manivelle soit par des poulies. La femme qui veut employer la machine place son linge dans le récipient et tourne la manivelle ; l'eau est projetée contre l'enveloppe en fonte, d'où elle s'écoule par un conduit. Ce travail est rapide et peu pénible. L'essorage peut être employé pour le linge le plus fin et les dentelles sans aucun inconvénient. Il peut amener le linge fin, avec une vitesse de rotation suffisante, au point de dessiccation convenable pour le repassage.

Fig. 386.

1679. Dans les grandes blanchisseries, ou la masse de linge qu'on essore en une seule opération est considérable, on se sert de turbines mises en mouvement par un moteur mécanique. Il en est de même dans les fabriques de sucre ou les turbines sont employées pour séparer les cristaux obtenus après la cuite en grains du sirop dans lequel ils sont engagés.

1680. Dans certains cas, et en particulier quand la turbine devra être placée assez loin des transmissions de l'usine, elle pourra être actionnée directement par un petit cylindre à vapeur fixé sur l'appareil lui-même. La figure 387 représente une de ces turbines construite par MM. Buffaud frères, de Lyon. Dans ces machines à vitesse considérable les engrenages sont remplacés par des rouleaux de friction L, N dont l'adhérence est déterminée par la pression d'un ressort M ; cette machine présente surtout deux dispositions remarquables ; la première est celle qui concerne la poêlette qui supporte le pivot de l'arbre vertical ; ce pivot tourne sur trois galets en acier superposés et noyés dans l'huile; cette disposition atténue les chances de grippement et de vibration. La seconde consiste dans la possibilité de régler la verticalité de l'axe au moyen du coussinet compensateur S, réglé par un boulon à double écrou T qui entraîne

le coussinet S, et qu'on peut faire remonter lorsqu'il y a eu usure du coussinet. Ces turbines tournent avec une vitesse de 1000 à 1200 tours par seconde. Quand on veut les mettre en marche, il suffit d'in-

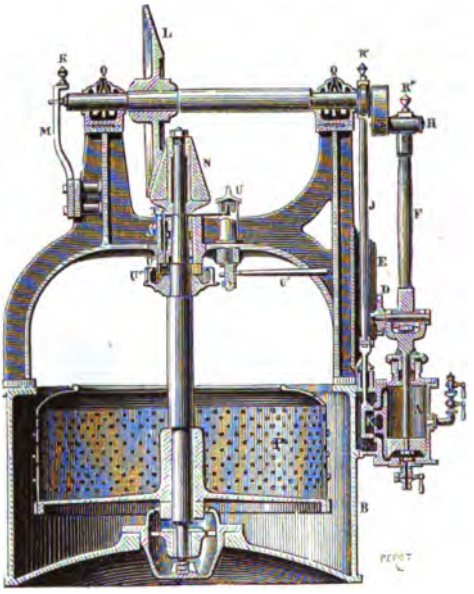


Fig. 387.

troduire la vapeur dans l'appareil de distribution K ; quand on veut les arrêter, on arrête d'abord la vapeur, puis à l'aide du levier U′ on serre le frein U‴ qui agit sur l'axe et permet d'arrêter le mouvement.

1681. Quand les turbines sont mues au moyen d'une transmission, la poulie à friction placée sur l'arbre vertical se prolonge comme on le voit (*fig.* 388) de façon à recevoir la courroie qui donne le mouvement ; l'embrayage ou le désembrayage se fait au moyen de la vis à volant A qui permet d'appuyer le ressort sur l'extrémité de l'arbre ou de le desserrer à volonté.

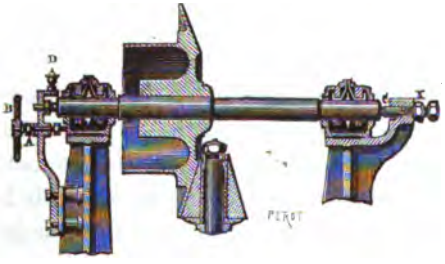


Fig. 388.

1682. Dans un travail de comparaison du séchage à l'étendage

et par les machines à sécher (*Société industrielle de Mulhouse*, 1866), M. Grossetête arrive à cette conclusion, qu'une turbine fonctionnant à 1000 tours, ayant $0^{m},40$ de hauteur, et 1 mètre de diamètre, ne fonctionne d'une façon économique qu'autant que la quantité d'eau extraite par minute dépasse $0^{kil},740$; d'après cela, il trouve que dans une semblable turbine la durée de l'essorage doit être comprise entre 5 et 7 minutes.

1683. A la blanchisserie de Courcelles, une essoreuse dont le récipient a $0^{m},98$ de diamètre et qui tourne avec une vitesse de 1000 à 1200 tours, reçoit une charge de linge mouillée correspondant à 25 kilogrammes de linge sec. La durée de l'essorage est de 4 minutes environ; le linge conserve 53 p. 100 d'eau à peu près. Le temps employé à l'opération ne dépend pas sensiblement de l'état de mouillage du linge, l'eau surabondante étant enlevée presque instantanément.

CHAPITRE II

Séchage à l'air libre.

1684. Le séchage à l'air libre consiste uniquement à suspendre les tissus sur des cordes ou des perches, à l'extérieur ou dans des pièces dont l'air se renouvelle facilement; il est de tous les modes de séchage le plus généralement employé, parce qu'il est à la fois le plus simple et le plus économique.

1685. Dans les grandes blanchisseries, on emploie à cet usage des bâtiments très-élevés, construits en bois et à claire-voie. Cette disposition est avantageuse, parce qu'elle diminue beaucoup la main-d'œuvre qui serait nécessaire, si tous les jours il fallait porter les tissus à l'étendage et les enlever rapidement lorsqu'il doit pleuvoir.

1686. Ce mode de séchage a cependant un grand inconvénient: il est très-irrégulier, car il dépend de la température de l'air, de son état hygrométrique et du vent. Dans certaines circonstances, il est extrêmement rapide; dans d'autres, il est très-lent et quelquefois complétement nul. Ainsi on ne peut pas faire des travaux réguliers et continus, ou bien il faut des séchoirs d'une dimension extrêmement considérable pour y accumuler les tissus, quand le temps n'est pas favorable.

Les seules conditions à remplir dans le séchage à l'air libre consis-

tent : 1° à placer le séchoir dans un lieu découvert où l'air circule facilement ; 2° à lui donner une grande élévation, parce que l'air est d'autant plus sec et plus agité qu'il est plus éloigné de la surface de la terre ; 3° à donner un libre accès à l'air par toutes les faces du bâtiment. Lorsqu'il est dangereux de laisser pénétrer dans les séchoirs l'air saturé d'humidité, par exemple, dans les séchoirs à colle, on place sur les faces du bâtiment de grandes jalousies que l'on ouvre et que l'on ferme à volonté. Ordinairement on couvre les séchoirs d'un toit qui déborde beaucoup les faces latérales, afin d'abriter les matières qu'il renferme des pluies obliques. Nous ne pouvons pas entrer dans de plus longs détails sur un sujet que nous ne devons considérer que d'une manière générale.

CHAPITRE III

Séchage par un courant d'air produit artificiellement.

1687. Dans la dessiccation à l'air libre trois circonstances exercent une grande influence sur la rapidité de l'évaporation : la température de l'air, son état hygrométrique et la vitesse du vent. Cette vitesse pourrait être produite artificiellement par une action mécanique, et comme le travail nécessaire pour faire mouvoir un grand volume d'air avec une petite vitesse est très-faible, il est important d'examiner quel serait, sous le rapport économique, le résultat de ce mode de séchage.

1688. Supposons une galerie remplie de matières à sécher, ouverte par un bout, communiquant par l'autre avec l'orifice central d'un ventilateur à force centrifuge. Supposons, pour fixer les idées, que l'orifice du ventilateur ait 1 mètre de diamètre, et que la vitesse d'accès soit de 2 mètres ; le volume d'air appelé par seconde sera de $2 \times 0^{m},785 = 1^{mc},570$, et son poids de $2 \times 1^{k},04 = 2^{k},02$. Le travail, abstraction faite du frottement, sera de $0^{km},4$, tandis que le travail d'un homme appliqué à une manivelle est de 10 kilogrammètres ; ainsi un homme pourrait facilement conduire deux ventilateurs, même en exagérant les résistances de toute espèce, en donnant à la galerie pour section 2 mètres sur 8 mètres, et 15 à 20 mètres de longueur, les étoffes étant espacées comme elles le sont dans les séchoirs ordinaires. Le volume d'air appelé par heure sera $1^{mc},570 . 3600 = 56520$ mètres cubes ; si l'air était à 15° et à moitié

saturé, la tension de la vapeur serait de $0^m,006$; son poids par mètre cube, de $0^k,0064$; le poids total, de 362 kilogrammes. En supposant 2 hommes à 3 francs pour un travail de 10 heures, le prix de l'évaporation de 362 kilogrammes serait de $0^f,60$; et celui de 1 kilogramme d'eau reviendrait à $0^f,0016$. La dépense serait encore plus faible, si l'on diminuait la vitesse d'accès en augmentant les diamètres d'entrée des ventilateurs ou leur nombre, et si le travail était produit par la vapeur.

1689. Le tirage par une cheminée d'appel coûterait beaucoup plus ; en effet, l'excès de température de l'air dans la cheminée devrait être au moins de 20° ; or, pour élever de 20° la température de 1 mètre cube d'air, il faut $1,3.20.\ 0,24 = 6^c,24$; par conséquent 1 kilogramme de houille sera nécessaire pour $8000 : 6,24 = 1282$ mètres cubes d'air ; et par suite, pour le volume d'air précédemment calculé, il faudrait $56520 : 1282 = 45$ kilogrammes de houille, ce qui, à 50 francs la tonne, porterait la dépense d'appel par heure à 2 fr. 25.

1690. Mais l'effet produit dépendant de la température de l'air et de son état hygrométrique, il augmentera évidemment à mesure que la température sera plus élevée et que le degré de saturation sera moindre ; il serait évidemment nul si l'air était saturé. En outre, l'évaporation produit un refroidissement de la matière et de l'air, qui diminue nécessairement la quantité de vapeur dont l'air peut se charger. En supposant que toute la chaleur soit fournie par l'air, $0^k,0064$ de vapeur, dans les circonstances que nous avons supposées, exigent à peu près $0,0064\ .\ 640 = 4^c,096$, ce qui abaisserait la température de l'air de $13^c,1$. A la vérité, une grande partie de cette chaleur sera restituée par l'enveloppe de la galerie, par l'air et par le rayonnement des corps environnants ; mais il y aura toujours un certain abaissement de température qui dépendra de la nature de l'enveloppe de la galerie, de son épaisseur, de ses dimensions et d'une foule de circonstances dont il est impossible d'apprécier d'avance l'influence.

1691. Il est évident que si l'on voulait construire un appareil de séchage par l'air extérieur non chauffé et mis en mouvement par un travail mécanique, il faudrait réduire autant que possible la vitesse d'appel, en multipliant le nombre des ventilateurs, employer un moteur à vapeur et disposer l'enveloppe du séchoir de manière qu'elle se mît promptement en équilibre de température avec les corps environnants ; cette enveloppe devrait par conséquent n'avoir qu'une faible épaisseur, et devrait être formée de corps bons conducteurs.

C'est le contraire des conditions à remplir pour les enveloppes des séchoirs à air chaud.

1692. Ce mode de séchage pourrait devenir très-avantageux si l'on pouvait dessécher à peu de frais l'air à son entrée dans le séchoir; il donnerait un effet utile à peu près proportionnel à la température extérieure. Avec cette modification, il pourrait s'appliquer avantageusement à la dessiccation des corps qui ne peuvent subir cette opération qu'à une température peu élevée, comme la colle. La dessiccation de l'air pourrait avoir lieu par la chaux vive ou par le chlorure de calcium; avec le premier corps, elle coûterait fort peu de chose si l'on avait l'emploi de la chaux hydratée, ce qui a lieu dans quelques circonstances ; avec le chlorure de calcium, le prix de la dessiccation de l'air résulterait de celui de la dessiccation et de la calcination du chlorure, opérations qui pourraient quelquefois s'effectuer par la chaleur perdue des générateurs. La dessiccation de l'air s'effectuerait facilement dans des caisses en bois, communiquant par la partie supérieure avec le séchoir, latéralement et par la partie inférieure avec l'air extérieur, et garnies d'un grand nombre de cloisons horizontales à claire-voie sur lesquelles la chaux ou le chlorure de calcium seraient déposés, et de portes latérales pour renouveler la matière siccative ; pour l'emploi de la chaux vive, les cloisons pourraient être en bois ; pour le chlorure de calcium, elles devraient être en toile métallique, et le fond de la caisse devrait renfermer un vase destiné à recevoir le chlorure de calcium liquéfié. Dans tous les cas, il faudrait donner aux caisses une grande section, et espacer assez les matières siccatives pour que l'air ne prît dans les caisses qu'une très-petite vitesse; l'appareil devrait être disposé de manière que l'air ne sortît jamais du séchoir que saturé, et pour cela il devrait avoir une petite hauteur et être divisé en deux parties égales A et B, par une cloison longitudinale qui ne se prolongerait pas jusqu'à son extrémité. Chacune des deux parties pourrait communiquer par ses deux extrémités avec les caisses de dessiccation et avec l'appel. Au commencement du travail, on ferait marcher l'air dans le sens AB; quand les matières de A seraient sèches, on fermerait la communication des deux chambres, on ferait seulement passer l'air à travers la seconde chambre B, pendant qu'on renouvellerait les matières de A, après quoi on ferait marcher l'air dans la direction BA; quand les matières de B seraient sèches, on ferait passer l'air seulement à travers la chambre A, pendant qu'on renouvellerait celles de B, et ensuite on ferait circuler l'air de nouveau dans les deux chambres et

dans la direction AB. Ces mouvements s'effectueraient très-faci e-ment par des registres convenablement placés.

CHAPITRE IV

Séchage par la chaleur.

Séchage par l'air chaud.

1693. Le séchage à l'air chaud est très-favorable à la régularité du travail ; il est nécessaire lorsque la dessiccation doit s'effectuer rapidement, ou qu'elle ne pourrait pas avoir lieu à l'air libre. Ce mode de séchage est évidemment plus cher que celui qui se fait naturellement par l'exposition à l'air. La dépense de chaleur se compose toujours de celle qui est employée à produire la vapeur et de celle que renferme l'air qui entraîne la vapeur.

1694. Les séchoirs, qui portent souvent le nom impropre d'*étuves*, peuvent se diviser en trois classes : ceux qui reçoivent l'air chauffé en dehors ; ceux dans lesquels, outre le courant d'air chaud, il y a un chauffage intérieur ; et enfin ceux dans lesquels il n'y a point d'accès régulier d'air extérieur, c'est-à-dire dans lesquels la vaporisation est uniquement produite par la chaleur provenant d'un calorifère intérieur. Nous examinerons successivement ces différents modes de séchage.

1695. *Séchoirs à courants d'air chauffé extérieurement.* — Ces séchoirs consistent toujours en une chambre close, dans laquelle sont étendues les matières à sécher, et qui a deux ouvertures, l'une pour l'arrivée de l'air chaud, l'autre pour la sortie de l'air saturé de vapeurs dans l'atmosphère. De quelque manière que soit placé l'orifice d'accès de l'air chaud, ce gaz gagne toujours rapidement la partie supérieure du séchoir ; l'orifice d'écoulement de l'air saturé doit évidemment être placé à la partie inférieure : car s'il était placé en haut, et si l'air chaud n'était pas uniformément distribué dans toute la surface du séchoir, il se dégagerait beaucoup d'air non saturé, tandis que si l'orifice de sortie est placé au bas, l'air chaud descendra en se répandant uniformément dans toute la section. Je pense qu'il est plus avantageux d'amener l'air chaud dans un canal au sommet du séchoir, que de le laisser monter à travers une partie des matières humides, parce qu'il y aura plus de régularité dans le séchage. Les orifices de

dégagement doivent communiquer avec une cheminée d'appel qui permette au besoin d'augmenter le tirage au moyen d'un foyer spécial; ordinairement on se contente de placer dans leur intérieur la cheminée en tôle du calorifère.

1696. L'appareil étant disposé comme nous venons de le dire, examinons ce qui se passe par l'accès de l'air chaud, et faisons pour le moment abstraction de la chaleur absorbée par les murailles et transmise au dehors. L'air chaud, en descendant par couches horizontales sensiblement isothermes, se refroidit en échauffant les matières humides et en se chargeant de vapeur, et quand il en est saturé, les vapeurs qu'il renferme se condensent successivement à mesure que l'air se refroidit; ainsi la température des matières va progressivement en diminuant de haut en bas; à une distance du sol, décroissant avec le temps, l'air saturé de vapeur est à la température extérieure, et il sort par la cheminée d'écoulement un volume d'air égal à celui qui est entré dans le calorifère, augmenté de celui qui correspond à la saturation complète, et l'air sort évidemment dans ces conditions jusqu'à l'époque où les matières qui se trouvent à la surface du sol commencent sensiblement à s'échauffer. A partir de cet instant, la température du mélange d'air et de vapeurs à la sortie du séchoir va toujours en croissant; mais à une certaine limite la quantité totale de chaleur contenue dans un mètre cube du mélange d'air et de vapeurs est égale à celle qui se trouvait dans le poids d'air que contient le mélange à la température d'entrée de l'air chaud dans le séchoir; au delà de cette température, l'air n'est plus saturé, et il l'est d'autant moins que sa température est plus élevée. S'il atteignait la température qu'il avait en entrant dans le séchoir, il est évident qu'il ne serait nullement chargé de vapeurs.

1697. Il résulte de cet examen des phénomènes qui se produisent dans un séchoir, qu'on peut diviser l'opération en trois périodes distinctes :

Dans la première, toute la chaleur apportée par l'air est employée à l'échauffement des matières à sécher; l'air écoulé est à la température extérieure, et toute la chaleur est utilisée.

Dans la seconde période, l'air s'échappe saturé à une température qui va d'abord en croissant jusqu'à une certaine limite, variable avec la température à l'entrée du séchoir; ensuite la température du mélange reste constante.

Enfin, dans la dernière période, durant laquelle s'achève la dessiccation, l'air s'échappe non saturé à une température croissante, et

d'autant moins saturé que sa température est plus élevée; la limite de cette température est évidemment celle que l'air possédait en entrant dans le séchoir. Dans cette période, il y a une quantité de chaleur perdue plus ou moins considérable suivant sa durée.

1698. Quand le séchage a lieu par l'air, il y a une certaine quantité de chaleur employée à chauffer l'air, et une autre partie à produire de la vapeur; pour savoir comment la chaleur se partage entre l'air et la vapeur, calculons, pour différentes températures, les quantités d'air et de vapeur renfermées dans un mètre cube du mélange saturé. En désignant par p la tension de la vapeur à t°, celle de l'air sera $0,76 - p$; le poids P de la vapeur sera :

$$P = \frac{5}{8} \cdot \frac{1,3 \cdot p}{0,76 \cdot (1 + at)} = \frac{1,07 \cdot p}{1 + at};$$

celui P_1 de l'air sera :

$$P_1 = \frac{1,3 \cdot (0,76 - p)}{0,76 \cdot (1 + at)} = \frac{1,71 \cdot (0,76 - p)}{1 + at}.$$

Le nombre de calorics C absorbées par l'eau pour passer de 0° à t° et se vaporiser à cette température, sera :

$$C = P\,(606,5 + 0,305t) = \frac{1,07 \cdot p(606,5 + 0,305t)}{1 + at},$$

et le nombre de calories C_1 absorbées par l'air pour passer de 0° à t° sera :

$$C_1 = P_1 0,2377 \cdot t = \frac{0,41\,(0,76 - p)t}{1 + at}.$$

Aux températures de :

5° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°

les tensions p de la valeur étant :

0m,007 0m,009 0m,017 0m,032 0m,055 0m,092 0m,149 0m,233 0m,355 0m,526,

celles $0,76 - p$ de l'air seront :

0m,753 0m,751 0m,743 0m,728 0m,705 0m,668 0m,611 0m,527 0m,405 0m,234;

les poids P de la vapeur renfermée dans 1 mètre cube seront :

k,007 0k,009 0k,017 0k,031 0k,051 0k,078 0k,122 0k,185 0k,274 0k,423;

ies poids P_1 de l'air :

$1^k,264$ $1^k,238$ $1^k,183$ $1^k,122$ $1^k,051$ $0^k,991$ $0^k,857$ $0^k,709$ $0^k,535$ $0^k,300$;

les quantités C de chaleur absorbées par la vapeur :

$4^c,2$, $5^c,5$, $10^c,4$, $19^c,1$, $31^c,6$, $48^c,5$, $76^c,3$, $116^c,1$, $172^c,9$, $268^c,2$,

et celles C_1 absorbées par l'air :

$1^c,5$, $2^c,9$, $5^c,6$, $8^c,0$, $10^c,0$. $11^c,5$, $12^c,2$, $11^c,8$, $10^c,1$, $6^c,4$,

les quantités totales $C + C_1$ de chaleur renfermées dans l'air et dans la vapeur :

$5^c,7$, $8^c,4$, $16^c,0$, $27^c,1$, $41^c,6$, $60^c,0$, $88^c,5$, $127^c,9$, $183^c,0$, $274^c,6$;

Les rapports $\frac{C}{C + C_1}$ des quantités de chaleur renfermées dans la vapeur aux chaleurs totales contenues dans l'air et la vapeur sont :

0,74, 0,654, 0,65, 0,70, 0,76, 0,81, 0.86, 0,91, 0,94, 0,98;

les poids $P + P_1$ du mètre cube du mélange :

$1^k,271$, $1^k,247$, $1^k,200$, $1^k,153$, $1^k,102$, $1^k,069$, $0^k,979$, $0^k,894$, $0^k,809$, $0^k,723$;

les poids du mètre cube d'air sec aux mêmes températures :

$1^k,279$, $1^k,257$, $1^k,213$, $1^k,173$, $1^k,136$, $1^k,100$, $1^k,067$, $1^k,036$, $1^k,007$, $0^k,979$,

les poids d'air nécessaires pour évaporer 1 kilogramme d'eau aux diverses températures :

$180^k,600$, $137^k,500$, $69^k,590$, $36^k,190$, $20^k,610$, $12^k,710$, $7^k,025$, $3^k,831$, $1^k,952$, $0^k,709$.

1699. Il résulte de ces nombres plusieurs conséquences importantes : 1° l'effet utile de la chaleur décroît d'abord rapidement à mesure que s'élève la température du mélange d'air et de vapeur à la sortie du séchoir; il atteint un minimum égal à 0,65, pour une température de 20° environ et augmente ensuite lentement avec la température, pour redevenir égal à l'unité à 100°; 2° la densité de l'air saturé de vapeurs décroît constamment avec l'accroissement de température, et elle est toujours plus petite que celle de l'air sec à la même température.

1700. Nous avons supposé l'air extérieur à 0° et sec, mais il est toujours à une température différente et plus ou moins chargé de vapeurs; ces circonstances feront certainement varier les nombres

que nous avons calculés ; mais ces variations ne changeront pas les conséquences générales que nous avons déduites de la supposition admise.

1701. Pour que l'air chaud puisse sortir saturé à une température donnée, du moins quand les matières humides ont été échauffées, il faut nécessairement que l'air chaud pénètre dans le séchoir à une température croissante avec celle de sa sortie ; car lorsque le régime est établi, toute la chaleur apportée par l'air doit se retrouver dans le mélange d'air et de vapeur à la sortie, et il est facile de prévoir que la température de l'air chaud doit augmenter suivant une loi très-rapide à mesure que celle du mélange s'élève. En effet, en supposant à l'origine l'eau et l'air à 0°, en conservant les notations précédentes et en désignant par t' la température de l'air chaud entrant, la quantité de chaleur absorbée par un mètre cube du mélange sera, d'après ce qui précède :

$$C + C_1 = \frac{0,41\,(0,76 - p)t}{1 + at} + \frac{1,07\,(606,5 + 0,305t)p}{1 + at};$$

et on aura

$$\frac{0,41\,(0,76 - p)t'}{1 + at} = \frac{0,41\,(0,76 - p)t + 1,07\,(606,5 + 0,305t)p}{1 + at},$$

d'où

$$t' = \frac{0,41\,(0,76 - p)t + 1,07\,(606,5 + 0,305t)p}{0,41\,(0,76 - p)};$$

et pour des températures de sortie du mélange égales à

20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90°,

on trouve pour les températures d'entrée

57°, 98°, 165°, 273°, 453°, 785°, 1435°, 3827°.

1702. Si la température extérieure était égale à θ°, en négligeant la petite quantité de vapeur que contient l'air, on aurait évidemment :

$$t' - \theta = \frac{0,41\,(0,76 - p)\,(t - \theta) + 1.07\,(606,5 + 0,305t - \theta)p}{0,41\,(0,76 - p)};$$

En supposant $\theta = 15°$, et pour les mêmes valeurs de t, on aurait pour t' :

47°, 68°, 135°, 242°, 423°, 756°, 1430°, 3794°.

1703. Ainsi, quand l'air extérieur est à 0° ou à 15°, pour que le

mélange saturé fût à 40° seulement, l'air chaud devrait entrer à une température voisine de 150°, température qui ne pourrait pas être dépassée pour les matières textiles ; l'effet utile serait alors seulement de 0,76 ; mais avant qu'on eût atteint cette température, il aurait été en décroissant pendant l'échauffement des matières à partir de 1° ; l'effet utile moyen dépasserait 0,75 ; il deviendrait évidemment plus petit à la fin de la dessiccation, quand la température de sortie dépasserait 40°, parce qu'alors l'air ne sortirait plus saturé.

1704. Mais quand l'air extérieur est à 0° ou à une température quelconque θ, l'effet utile, qui est primitivement égal à l'unité, quand l'air sort du séchoir saturé à la température extérieure, diminue d'abord pour augmenter ensuite, et se rapprocher de l'unité quand la température du mélange s'approche de la limite de saturation ; on conçoit facilement qu'il doit en être ainsi.

1705. La formule générale qui représente l'effet utile peut facilement s'obtenir en remarquant qu'on peut toujours négliger dans le calcul la petite quantité de vapeur qui se trouve dans l'air extérieur. En supposant par exemple l'air à 15° et à moitié saturé, la tension de la vapeur est seulement de $0^m,0064$, le poids de l'air sec renfermé dans 1 mètre cube est de $1^k,216$, celui de la vapeur de $0^k,010$; le poids du mètre cube du mélange, de $1^k,226$; la capacité calorifique moyenne du mélange de 0,239 ; tandis que si l'on négligeait la vapeur qui se trouve dans l'air, le poids du mètre cube d'air serait de $1^k,23$; et la capacité calorifique de 0,2377. Ainsi on peut ne pas avoir égard à la vapeur qui se trouve dans l'air à 15°, et à plus forte raison quand la température est moins élevée. D'après cela, en désignant par θ la température extérieure, et, comme ci-dessus, par t la température de sortie de l'air saturé, par p la tension de la vapeur, les quantités de chaleur C et C_1, absorbées par l'air et la vapeur de $\theta°$ à $t°$ sont :

$$C = \frac{0,41\,(0,76 - p)\,(t - \theta)}{1 + at}\,; \quad \text{et} \quad C_1 = \frac{1,07\,(606,5 + 0,305t - \theta)p}{1 + at}.$$

Le rapport de la chaleur employée pour la vaporisation à la chaleur totale dépensée sera

$$\frac{C}{C + C_1} = \frac{1,07\,(606,5 + 0,305t - \theta)p}{1,07\,(606,5 + 0,305t - \theta)p + 0,41\,(0,76 - p)\,(t - \theta)}.$$

On voit, à l'inspection de cette formule, que, pour la même valeur

de t, l'effet utile sera d'autant plus grand que θ sera plus élevé. Pour $\theta = 15°$ et pour les valeurs suivantes de t

20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90°,

les valeurs de l'effet utile sont

0,876, 0,813, 0,823, 0,847, 0,876, 0,901, 0,920, 0,938.

Examinons maintenant les dispositions les plus convenables des différentes parties du séchoir.

1706. Les appareils destinés à chauffer l'air varient beaucoup dans leurs dispositions, suivant que l'on fait passer dans le séchoir l'air qui a servi à la combustion, ou de l'air qui a reçu par transmission une partie de la chaleur développée dans le foyer. Dans le premier cas, l'appareil se compose seulement d'un foyer, et il faut employer des houilles sèches qui ne produisent pas de fumée, du coke ou du charbon de bois. A la rigueur on pourrait employer un combustible quelconque, si l'on pouvait parvenir à brûler complétement la fumée ; mais, comme nous l'avons vu, tous les appareils qu'on a imaginés jusqu'ici ne la font pas disparaître complétement, et les inconvénients de la fumée dans un séchoir sont trop grands et pourraient occasionner des pertes trop considérables, pour que l'on pût employer des foyers fumivores dont l'effet dépend toujours de l'ouvrier qui dirige le feu. L'emploi de l'air brûlé, même entièrement dépouillé de fumée, représente d'ailleurs de grands inconvénients qui en restreignent l'emploi à un très-petit nombre de cas ; une partie des cendres est entraînée sur les objets à sécher, et la nature de l'air qui remplit le séchoir ne permet pas aux ouvriers de s'y introduire. L'air est ordinairement échauffé sans qu'on lui fasse subir aucune altération, et on emploie pour cela des calorifères à air chaud, à vapeur, ou à eau chaude, sur lesquels nous donnerons dans le livre suivant tous les détails nécessaires.

1707. Le séchoir est une vaste chambre, n'ayant d'autres issues que les ouvertures par lesquelles arrive le courant d'air chaud, et celles qui laissent écouler dans l'atmosphère l'air saturé d'humidité. Il doit cependant avoir des portes pour le passage des ouvriers et l'introduction des matières à dessécher, et des fenêtres pour éclairer le travail qu'on y fait à la fin de chaque opération ; mais ces ouvertures doivent être peu nombreuses, et fermées pendant le séchage. Les parois de la chambre doivent être en matières peu conductrices de la chaleur, afin que le refroidissement occasionné par l'air

extérieur soit le plus petit possible. Les murs peuvent être en maçonnerie ordinaire, ou en bois et en plâtre.

1708. La disposition des objets à sécher et le mode de distribution de l'air chaud ont plus d'influence sur la saturation de l'air que les dimensions mêmes du séchoir ; car cette saturation dépend uniquement de l'étendue des surfaces humides que l'air est obligé de parcourir avant de sortir. Un très-grand séchoir, dans lequel les matières humides seraient mal disposées et auraient une grande épaisseur, pourrait laisser échapper de l'air très-chaud et peu saturé à toutes les époques de l'opération, tandis qu'un séchoir beaucoup plus petit, où l'air sera obligé de circuler sur une grande étendue de surfaces humides minces, ne laissera dégager que de l'air complétement saturé, du moins dans les deux premières périodes (1697).

1709. Les conditions les plus importantes à remplir sont : 1° de ne laisser sortir du séchoir que de l'air complétement saturé, du moins dans les deux premières périodes ; 2° de ne pas laisser séjourner dans certaines parties du séchoir de l'air sursaturé. Si la première condition n'était pas remplie, il y aurait beaucoup de pertes de chaleur ; et quant à la stagnation de l'air dans certaines parties du séchoir, elle empêcherait la dessiccation des matières qui y seraient placées, et même, dans certaines circonstances, pourrait nuire à leur qualité. Pour satisfaire à ces deux conditions, il faut que la matière à sécher présente une surface uniformément distribuée dans toute l'étendue du séchoir, et que les ouvertures d'accès et de sortie de l'air chaud soient convenablement placées.

1710. On fait souvent arriver l'air chaud par le bas du séchoir, et on le fait sortir par le haut. Cette disposition du tuyau d'écoulement est très-vicieuse, comme nous l'avons déjà dit, parce que l'air chaud, à son entrée dans le séchoir, étant à une température plus élevée que celui qui s'y trouve, gagne rapidement, sans s'étendre beaucoup, et par le chemin de moindre résistance, le haut du séchoir, d'où il est aussitôt porté à l'extérieur avant d'être saturé ; et si les orifices d'entrée de l'air chaud ne sont pas très-multipliés et uniformément répartis sur le sol, certaines parties de l'air du séchoir restent immobiles, se refroidissent, et laissent précipiter de la vapeur sous la forme de vésicules qui le rendent plus pesant que l'air seulement saturé à la même température. Ces inconvénients peuvent être complétement évités en faisant arriver l'air par la partie supérieure, et en faisant sortir les vapeurs du séchoir par des ouvertures pratiquées au niveau du sol, communiquant avec des cheminées suffisamment élevées.

1711. J'ai eu plusieurs fois l'occasion de reconnaître la grande différence qui existe entre les effets produits par les séchoirs, suivant que le canal d'évacuation des vapeurs est placé à la partie supérieure ou à la partie inférieure. En 1822, M. Ternaux en a fait l'observation dans un séchoir qu'il avait fait construire à Saint-Ouen pour dessécher des vermicelles de pommes de terre. Le séchoir était établi au premier étage, dans une chambre de 180 mètres cubes de capacité, échauffée à 30 ou 40° par un calorifère de Désarnod, placé au rez-de-chaussée. Ce séchoir avait primitivement des ouvertures pratiquées à la partie supérieure ; M. Ternaux ayant reconnu que la dessiccation s'opérait trop lentement, remplaça les premières issues par neuf nouvelles, pratiquées au niveau du carrelage, et communiquant avec des canaux qui s'élevaient au-dessus des toits. Il obtint les résultats suivants, qui sont des termes moyens de cinq expériences :

SORTIE DONNÉE AUX VAPEURS.	VERMICELLE OBTENU.		
	1re QUALITÉ.	2e QUALITÉ.	3e QUALITÉ.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Par le bas.....	247,040	18,91	2,04
Par le haut.....	144,075	65,17	39,04

et la consommation de combustible a toujours été beaucoup plus grande dans le second cas que dans le premier.

1712. Ainsi, nous admettrons comme une condition d'une grande importance, que l'issue des vapeurs doit toujours être pratiquée au niveau du sol du séchoir. Cette circonstance, qui s'oppose à la stagnation de l'air dans certaines parties du séchoir, est en même temps très-favorable à la saturation de l'air chaud ; car l'air chaud se meut rapidement quand il s'élève dans un milieu plus dense, et au contraire il chemine lentement et se distribue uniformément quand il marche de haut en bas.

1713. On augmenterait évidemment l'uniformité du séchage en multipliant les orifices de communication avec la cheminée. La disposition la plus convenable consisterait à mettre dans le séchoir un plancher élevé au-dessus du sol et dont les planches seraient espacées de quelques centimètres, et à établir la communication avec la cheminée au-dessous du plancher.

1714. Les cheminées d'évaporation peuvent être en planches, en plâtre ou en maçonnerie légère. Il est toujours avantageux d'en avoir plusieurs, quand le séchoir a de grandes dimensions, pour rendre le mouvement de l'air plus uniforme dans toute l'étendue du séchoir.

1715. Le tirage naturel de la cheminée d'évaporation, abstraction faite des frottements, se compose du tirage résultant de la colonne d'air chaud qui débouche au sommet du séchoir, augmenté de celui de la cheminée elle-même, et diminué du tirage du séchoir. Connaissant, d'après ce que nous avons dit précédemment, la température de l'air chaud dans le canal d'accès, celle du séchoir et celle de la cheminée, on en déduira d'après la formule (547) la charge produisant l'écoulement, et par suite la section que devrait avoir la cheminée si elle ne donnait issue qu'à l'air qui a pénétré dans le calorifère ; et en multipliant cette section par le rapport du volume total de vapeur et d'air au volume d'air, on obtiendra la section que devrait avoir la cheminée, si l'air et la vapeur n'éprouvaient pas de résistance dans leur chemin ; mais comme ces résistances ne proviennent que du frottement, et que la vitesse est très-petite dans le séchoir, on sera toujours assuré, en doublant la section, d'avoir un excès de tirage. Supposons, par exemple, que le séchoir ait 6 mètres de hauteur, le canal d'air chaud 8 mètres, la cheminée 12 mètres, et que la température de l'air chaud soit de 140° ; celle de l'air extérieur étant de 15°, la température du séchoir et celle de la cheminée seront d'environ 40°, on aura

$$t - \theta = 125; \qquad t_2 - \theta = t_1 - \theta = 25; \qquad 1 + a\theta = 1{,}055;$$
$$1 + at = 1{,}513 \quad \text{et} \quad 1 + at_1 = 1 + at_2 = 1{,}146,$$

d'où

$$P = \frac{0{,}00367\,[8 \times 125 \times 1{,}146 + (12 - 6) \times 25 \times 1{,}513]}{1{,}055 \times 1{,}513} = 3{,}16,$$

et par suite, la vitesse d'accès de l'air froid sera :

$$v = \frac{1{,}055}{1{,}146}\sqrt{2 \times 9{,}81 \times 3{,}16} = 7^{m},24.$$

Supposant une consommation de houille de 20 kilogrammes par heure, un effet utile dans le calorifère de 0,75, la quantité de chaleur qui passera dans l'air par heure sera de 120000 calories, c'est-à-dire de 32^{c},32 par seconde : et comme un mètre cube d'air, échauffé de 15 à 140°, absorbe à peu près 38 calories, le volume d'air froid qui pénétrera dans le calorifère par seconde sera de 0^{mc},87 ; et comme

la vitesse est de $7^m,24$, la section d'entrée sera de $0^{mq},12$. La tension de l'air sec dans de l'air saturé à 40^c étant égale à 0,707, le volume saturé est au volume d'air sec dans le rapport de 0,76 à 0,707 qui est de 1,077 ; par conséquent la section de la cheminée devrait être égale à $0^{mq},12 \cdot 1,077 = 0^{mq},13$. Il faudrait donner $0^{mq},24$ de section aux canaux de circulation de l'air chaud, et $0^{mq},26$ à la section de la cheminée.

1716. On peut augmenter le tirage de la cheminée d'évaporation en augmentant la section ; il y a une certaine influence résultant de l'accroissement de section, et la vitesse étant diminuée, le frottement l'est également. Cette résistance pourrait être regardée comme nulle si la section était trois ou quatre fois plus grande que la section théorique (587). Il y aurait alors à craindre l'action des vents ; mais on s'y soustrairait complétement en rétrécissant l'orifice supérieur, de manière que les sections d'entrée et de sortie fussent égales. Il sera toujours utile de garnir le sommet de la cheminée d'un chapeau qui s'oppose à l'influence des vents, ou, mieux encore, d'un appareil qui utilise la vitesse du vent et la fasse concourir au tirage.

1717. On peut aussi activer le tirage de la cheminée d'évaporation, en y plaçant la cheminée du calorifère, qui doit alors être en tôle ; son sommet doit dépasser celui de la cheminée enveloppante, et chacune d'elles doit être terminée par un chapeau (*fig.* 389), afin d'éviter que la fumée ne soit refoulée dans le séchoir. On pourrait faire déboucher la cheminée à fumée à une certaine hauteur dans la cheminée d'évaporation ; si la cheminée à fumée s'élevait à quelques mètres, le tirage du foyer ne serait pas sensiblement diminué, et celui de la cheminée d'évaporation serait beaucoup augmenté ; mais cette disposition serait dangereuse si les matières à sécher étaient altérables par la fumée.

Fig. 389.

1718. Indépendamment de la chaleur perdue pour l'évaporation de l'eau renfermée dans les matières à sécher, il y a dans les séchoirs plusieurs autres causes de perte qu'il est nécessaire d'examiner, afin de voir quels moyens on pourrait employer pour les éviter, ou du moins pour les diminuer.

1719. La première est la perte de chaleur à la fin du séchage par l'air chaud qui se dégage sans être saturé. On peut l'éviter complétement par une disposition très-simple et d'une exécution facile.

Le séchoir est divisé en deux chambres égales A et B (*fig.* 390) par deux cloisons verticales, séparées par un intervalle suffisant pour que la section horizontale de l'espace qu'elles comprennent excède celle de la cheminée d'évaporation. Ce canal vertical intérieur est muni, à la partie inférieure et de chaque côté, d'ouvertures qui règnent dans toute la longueur, et qui sont garnies de registres mobiles *a*, *a'*, *b*, *b'*, au moyen desquels on peut faire communiquer la partie inférieure de chaque chambre avec la partie supérieure de l'autre. Au centre de chacune des chambres se trouve un tuyau vertical qui amène l'air

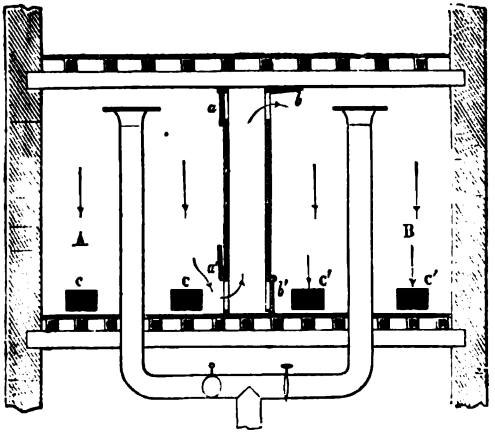


Fig. 390.

chaud ; chaque chambre communique par le bas avec la cheminée d'évaporation, et les orifices de communication sont pourvus de registres C,C et C',C'. Les deux chambres étant remplies de matières à sécher, supposons qu'on fasse arriver l'air chaud dans la chambre A, les registres *a* et *a'* étant fermés, tout se passera comme dans un séchoir ordinaire ; mais aussitôt que la température du mélange d'air et de vapeur dépassera la température à laquelle l'air cesse d'être saturé, on ouvrira les registres *a'*, *b* et C', et on fermera les registres C ; l'air chaud, arrivant toujours à la partie supérieure de A, passera à la partie inférieure de B, et de là dans la cheminée. Quand les matières de A seront complétement sèches, on fermera les registres *a'* et *b*, et on fera arriver l'air chaud dans B ; on enlèvera les matières sèches de A en les remplaçant par des matières humides. Lorsque l'air sortira de B à une température supérieure à la limite de saturation, on fera passer l'air de B à la partie supérieure de A, en ouvrant

les registres b', a, C, et fermant le registre C', et ainsi de suite. Il est évident que, par cette disposition et ce mode de direction de l'opération, on ne laissera sortir que de l'air saturé.

1720. Une autre cause de perte de chaleur provient de celle que renferment les matières sèches; mais elle est en général peu importante, du moins par rapport à celle qui est employée à la vaporisation. Les tissus, avant d'être placés dans le séchoir, passent par l'essoreuse, qui enlève une grande partie de l'eau qu'ils renferment, et n'en laisse qu'à peu près 0,5. Dans cet état, la quantité de chaleur absorbée par la vaporisation sera de 320 unités; celle que renfermera la matière échauffée sera seulement de $0,5 \,.\, 0,54 \,.\, 100 = 27$. Mais si l'eau à vaporiser ne représentait que 0,1 du poids total, le premier effet serait représenté par 64, le second par $0,9 \,.\, 0,54 \,.\, 100 = 48,6$; et celui-ci approcherait du premier. Comme il faut toujours que les matières séchées soient refroidies, il convient d'examiner, dans chaque cas particulier, s'il y aurait de l'avantage à chauffer de l'air avec cette chaleur pour effectuer un commencement de séchage, ou pour l'employer à d'autres objets.

1721. Il y a aussi une perte notable de chaleur résultant de l'échauffement de tout le volume d'air du séchoir à la température de la fin de la dessiccation; car, à la suite de l'ouverture du séchoir pour enlever les matières sèches et les remplacer, la totalité de l'air chaud est presque toujours remplacée par de l'air extérieur. Cette perte est souvent considérable, car, la température de l'air dépassant ordinairement 100°, la perte s'élève à $1.3 \,.\, 0,24 \,.\, 100 = 31^{c},2$ par mètre cube. Cette perte ne peut pas être évitée, mais on peut la diminuer en laissant dans le séchoir le moins d'espace libre possible, sans pourtant gêner les mouvements de l'air.

1722. Enfin, une dernière cause de perte est l'échauffement des murailles et la transmission de la chaleur à travers leur épaisseur et à travers les vitres. En supposant une température moyenne extérieure de 7°, une température intérieure de 100° et une épaisseur de muraille de $0^{m},30$, la quantité de chaleur transmise par mètre carré et par heure est de 131 calories, et pour les vitres elle est de 153^{c}. Dans chaque cas particulier, les formules que nous avons données (981, 997) permettront de calculer la perte de chaleur avec toute la précision désirable. Cette perte de chaleur est considérable, mais forcée; on peut seulement la diminuer en donnant aux murailles une grande épaisseur, et surtout par de bonnes dispositions intérieures qui permettent d'accélérer le travail et de le rendre continu.

1723. *Séchoirs a courants d'air chaud et à chauffage intérieur.* — Si le séchoir est chauffé intérieurement, tout se passera évidemment comme s'il était chauffé par l'air chaud seulement, mais à une plus haute température, et l'effet utile sera augmenté. Si, par exemple, l'air extérieur était à 15°, si les 0,9 de la chaleur étaient introduits directement, et si l'air chaud arrivait à 143°, les résultats seraient les mêmes que si le chauffage avait lieu par de l'air chaud à 1430°; la limite de température de l'air saturé à sa sortie sera 80°, et l'effet utile, calculé d'après la formule (1705), sera 0,92; et comme, avant l'établissement de ce régime, l'effet utile était peu différent, on voit qu'il y aurait un grand avantage à produire un grand chauffage intérieur.

1724. Dans les séchoirs à air chaud et à chauffage intérieur, on place ordinairement les tuyaux de chauffage à la partie inférieure, ainsi que les orifices d'écoulement de l'air chargé de vapeurs, et on fait arriver l'air extérieur par un canal qui ordinairement enveloppe une partie des surfaces de chauffe. Dans cette disposition, il se forme des courants ascendants autour des tuyaux de chauffage, des courants descendants dans les intervalles; les courants ascendants se refroidissent en se chargeant de vapeur; les courants descendants, à leur point de départ, sont en général saturés ; mais, comme ils se réchauffent par la rencontre des courants ascendants, il peut se dégager de l'air non saturé pendant toute la durée de l'opération, même en supposant les surfaces de chauffe uniformément distribuées près de la surface du sol et les orifices de dégagement au-dessous ; en outre, il se dégage nécessairement de l'air de moins en moins saturé vers la fin de l'opération.

1725. Ces inconvénients, qui sont accompagnés d'une grande perte de chaleur, peuvent être évités par une disposition convenable de l'appareil. Considérons un séchoir (*fig.* 391) divisé en deux chambres égales par une double cloison, garnie de registres a, a', b, b', disposés de la même manière que dans la figure 390. Chacune de ces chambres peut recevoir, au moyen des tuyaux o et o', de l'air chauffé par un calorifère; et chacune est divisée en deux parties égales, A,A', B,B', par une cloison double, renfermant des tuyaux de chauffage et garnie à la partie supérieure et à la partie inférieure de registres c, d, c' d'; e, f, e', f'; enfin les parties inférieures des chambres partielles communiquent avec la cheminée d'appel par des orifices pourvus de registres m, m' n, n'. Supposons les chambres A, A', B, B' remplies des matières à sécher, l'air chaud arrivant

par le tuyau O à une température de 150° environ, les tuyaux de l'espace C chauffés de manière à émettre sensiblement la même quantité de chaleur que le calorifère, les orifices c', d et m' ouverts : l'air chaud descendra dans la chambre A, le mélange d'air et de vapeurs s'écoulera dans la cheminée par les orifices m', à une température comprise entre 50 et 60°, avec un effet utile compris entre 0,75 et 0,80. Quand la température dépassera cette limite, l'air cessera

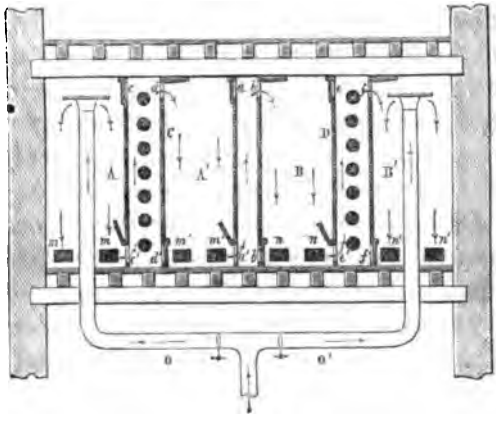


Fig. 391.

d'être saturé ; alors il faudra chauffer les tuyaux de l'intervalle D, et faire sortir l'air par les orifices n' en ouvrant les orifices a', b, n' et fermant les autres communications avec la cheminée d'appel. Lorsque les matières de A et A' seront sèches, on interceptera la communication de A' avec B, on arrêtera l'écoulement de l'air chaud par le tuyau O, on le fera arriver par le tuyau O', on continuera à chauffer les tuyaux de D, et on fera sortir l'air par les orifices n. Les matières sèches de A et A' ayant été enlevées et remplacées, on conservera le même mode de circulation jusqu'à ce que l'air ait dépassé la limite de température correspondant à la saturation ; alors on chauffera les tuyaux de C, et on fera écouler l'air par les orifices m, et ainsi de suite. Si chacune des deux chambres était divisée en 3, 4, 5 parties égales, et si les séparations renfermaient des appareils de chauffage identiques, il est évident que tout se passerait comme si l'air chaud arrivait à des températures de 450°, 600° 750°, etc., et par suite les effets utiles s'élèveraient de 0,80 à 0,90. Il y aurait en réalité peu d'avantage à augmenter le nombre des

appareils de chauffage intérieur, et la disposition de la figure 391 me paraît plus avantageuse à cause de sa simplicité.

Séchage par le chauffage direct.

1726. Les séchoirs de cette espèce sont formés d'une chambre close, renfermant un calorifère placé à la partie inférieure et une ou plusieurs ouvertures fermées par des soupapes légères. La chaleur produit d'abord une dilatation de l'air et une formation de vapeurs ; l'accroissement de pression qui en résulte ouvre les soupapes pour donner issue au mélange d'air et de vapeur ; après un temps plus ou moins long, les matières atteignent une température de 100°, et les vapeurs qui se forment se dégagent naturellement par les orifices. Lorsqu'il n'y a plus de dégagement sensible de vapeurs, les matières sont sèches, et on procède à leur enlèvement. En supposant que les matières à sécher soient disposées de manière que l'air et la vapeur puissent facilement circuler, et que les surfaces de chauffe soient à la partie inférieure, ce mode de séchage est plus avantageux que le séchage par l'air chaud, et d'autant plus que, par cette dernière méthode, le mélange d'air et de vapeurs est abandonné à une plus basse température.

1727. Il est évident que, lorsque les matières à sécher peuvent supporter une température supérieure à 100°, et qu'on veut sécher par l'air chaud, de manière que le mélange sorte à une température élevée voisine de 80°, pour obtenir un grand effet utile il est bien préférable d'opérer en vase clos, par la chaleur seule ; les appareils sont beaucoup plus simples, et on obtient un effet utile plus considérable.

1728. Il est important de remarquer que, dans tous les modes de séchage à l'air chaud ou par la chaleur seule, le mélange d'air et de vapeur, qui s'échappe à une température plus ou moins élevée, renferme presque toute la chaleur employée, et qu'on peut faire passer toute cette chaleur dans de l'air qu'on échaufferait à la même température, et qui pourrait ensuite être utilisé pour une dessiccation particulière ou pour d'autres objets.

1729. On pourrait aussi produire le séchage, en employant plusieurs fois de suite la chaleur de la vapeur, comme pour la distillation et l'évaporation. Le séchage devrait évidemment avoir lieu en vase clos ; les séchoirs seraient disposés comme les appareils d'évaporation à effets multiples ; les pressions intérieures des vases

iraient nécessairement en décroissant du premier au dernier, et il faudrait employer ou des pressions plus grandes que celles de l'atmosphère, ou établir et maintenir dans les vases un vide partiel. Mais les chambres de séchage, par suite de leurs grandes dimensions et de la nature des matériaux employés dans leur construction, ne pourraient supporter ni un excès de pression intérieure, ni une pression inférieure de beaucoup à la pression de l'atmosphère, de sorte que ce mode de séchage, quoique beaucoup plus économique que tous les autres, ne paraît pas réellement applicable.

CHAPITRE V

Régulateurs de température.

1730. Les matières à sécher ne pouvant, en général, supporter sans s'altérer qu'une température déterminée, et les appareils de chauffage, par suite de l'abaissement du registre de la cheminée d'écoulement, pouvant fournir de l'air à une température très-élevée, il est important de placer dans les séchoirs des appareils qui en limitent la température; ces appareils mettent en mouvement le registre de la cheminée à fumée ou du cendrier, et ferment plus ou moins l'un ou l'autre de ces canaux, quand la température du séchoir dépasse la limite assignée. On peut produire cet effet d'un grand nombre de manières différentes, soit par la dilatation d'un métal, d'un liquide ou d'un gaz, soit par l'électricité.

1731. Lorsqu'on veut employer la dilatation d'un métal, l'appareil peut être formé d'une simple barre fixée par l'une de ses extrémités, et dont l'autre agit directement ou par l'intermédiaire d'un levier sur un bras du fléau d'une balance en équilibre, dont l'autre bras supporte le registre du cendrier.

On pourrait aussi, pour obtenir directement une plus grande course, employer deux plaques métalliques de fer et de cuivre soudées ou réunies par des rivets et pliées sous un petit angle; un accroissement de température augmenterait l'angle primitif, et, si une des branches était fixe, l'autre pourrait agir sur la balance dont nous venons de parler. La disposition du manomètre métallique de M. Bourdon, qui consiste, comme nous l'avons dit, en un tube recourbé fermé par ses deux extrémités, pourrait aussi être employée avec avantage; l'effet résulterait à la fois de l'inégale dilatation des

parties extérieure et inférieure de la courbure du tube et de l'accroissement de pression intérieure, qu'on pourrait augmenter dans une très-grande proportion, en introduisant une très-petite quantité d'eau dans le tube.

1732. Les liquides pourraient être employés sous la forme d'un thermomètre ; le réservoir serait formé d'un tube métallique d'un petit diamètre, communiquant avec un siphon renversé renfermant du mercure ou de l'huile, et dont la branche libre supporterait un flotteur agissant sur le fléau de la balance dont nous venons de parler. La colonne de mercure ou d'huile qui termine l'appareil est indispensable, si l'on emploie de l'eau ou de l'alcool, pour éviter la diminution du liquide par l'évaporation.

1733. Pour se servir de la dilatation des gaz, il faudrait employer un tube métallique d'un petit diamètre, très-long et communiquant avec un siphon renversé plein de mercure ; l'accroissement de température de l'air produirait un accroissement de pression qui amènerait dans les deux colonnes de mercure une variation de hauteur, qu'on utiliserait pour agir sur le flotteur. On pourrait aussi introduire dans le réservoir d'air une certaine quantité d'eau qui augmenterait beaucoup les variations de pression.

1734. Enfin, pour l'emploi de l'électricité, on placerait dans l'espace où l'on doit maintenir une température constante un thermomètre à mercure, dont le réservoir renfermerait un fil de platine, et la tige un autre fil de platine dont l'extrémité partirait du point de l'échelle thermométrique qui ne doit pas être dépassé ; en dehors de cet espace, on aurait un électro-aimant et une pile qui ferait partie d'un circuit terminé par les deux fils de platine du thermomètre. Par cette disposition, il est évident que, lorsque le mercure du thermomètre aura atteint le fil de platine de la tige, le circuit sera fermé, et l'électro-aimant, agissant sur une plaque de fer placée à une certaine distance de ses pôles, l'attirera, et ce mouvement pourra facilement être communiqué au registre d'accès de l'air froid.

Toutes ces dispositions présentent des difficultés de construction ou d'autres inconvénients ; nous décrirons d'abord les appareils qui ont été essayés.

1735. M. Sorel a employé, pour produire une température sensiblement constante, inférieure à 100°, une disposition très-simple. L'appareil se compose de deux vases A et B (*fig.* 392), de même hauteur, communiquant par leur partie inférieure et renfermant de l'eau jusqu'à une certaine hauteur. L'un d'eux est fermé, l'autre ou-

vert, et ce dernier contient un flotteur lié, par une corde et une poulie, au registre de la cheminée ou à un contre-poids qui parcourt une échelle divisée. Quand la température extérieure augmente, la tension du gaz dans le vase fermé augmente et par l'élévation de la température de l'air, et par l'accroissement de force élastique de la vapeur; alors le niveau du liquide s'abaisse dans ce vase, s'élève

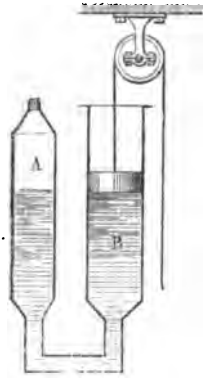


Fig. 392.

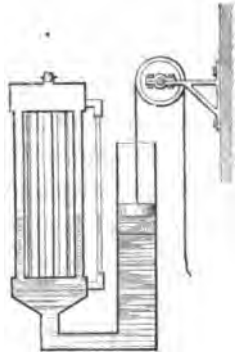


Fig. 393.

dans l'autre, et les vases peuvent avoir des dimensions telles qu'à une température assignée le mouvement imprimé au registre commence à fermer l'orifice. On pourrait augmenter la course du contre-poids qui sert à indiquer la température ou qui fait mouvoir le registre de la cheminée, en plaçant sur l'axe de la poulie une autre poulie d'un plus grand diamètre, sur laquelle se trouverait une corde terminée par deux poids égaux: celui qui serait fixé au fil de suspension du flotteur ne servirait alors qu'à équilibrer son poids. Mais, pour que l'appareil prît plus rapidement la température du milieu environnant, il faudrait employer la disposition représentée par la figure 393. Le vase fermé est composé d'un faisceau de tubes parallèles et d'un tube latéral qui indique la hauteur du niveau de l'eau.

1736. Cet appareil est très-simple; mais il ne pourrait pas servir pour des températures supérieures à 100°, parce que les tensions croissent trop rapidement avec les températures. Il a, même pour des températures inférieures à 100°, deux inconvénients graves : le premier consiste en ce que, la masse d'eau renfermée dans l'appareil étant considérable, elle ne se met que lentement en équilibre

de température avec l'air environnant ; le second résulte de ce que l'appareil est soumis aux variations de la pression atmosphérique, variations qui en produisent d'autres dans les températures extrêmes du séchoir. Supposons, par exemple, que, l'appareil ayant les dimensions que nous avons indiquées, le baromètre descende de 0,01 ; le liquide montera dans le tube B de 0,01 . 13,6 = 0,13 ; ainsi le registre aurait été fermé à une température inférieure à 50° ; le contraire aurait lieu pour un accroissement de pression.

1737. M. Rolland a présenté à l'Exposition universelle de 1855, pour la torréfaction des tabacs, un appareil dont nous parlerons plus loin et dans lequel se trouve un régulateur de température d'une grande exactitude. Ce régulateur est fondé sur le même principe que celui que nous venons d'indiquer ; mais il est disposé de manière à faire disparaître l'influence de la pression barométrique. Le tube mince qui communique avec le réservoir d'air chauffé s'ouvre au-dessus d'une cloche de verre qui plonge dans une autre en partie remplie de mercure et qui est soutenue par un fléau de balance ; l'accroissement de pression produit dans les tubes concentriques un dénivellement qui ne change pas l'effet produit sur la balance ; mais la pression produite par l'air échauffé agit directement sur la balance ; et pour la même température, l'excès de pression de l'air chaud est modifié par les variations de pression barométrique de la même manière que dans le siphon dont nous avons parlé d'abord. Pour détruire l'influence de ces variations, M. Rolland fait plonger la cloche renversée, suspendue à la balance, dans la cuvette d'un baromètre à siphon ; on conçoit facilement que l'équilibre étant établi pour une certaine pression atmosphérique, si elle vient à augmenter, le mercure s'abaissera dans la cuvette du baromètre, et augmentera le poids de la cloche suspendue, et que le contraire arrivera si la pression diminue ; mais pour qu'il y ait compensation dans les deux effets opposés, produits par les variations du baromètre, il faut certains rapports entre le diamètre du tube du baromètre, celui de sa cuvette, et celui de la cloche mobile. Pour soustraire le registre d'accès de l'air dans le cendrier à l'influence des variations de température de l'air dans la cheminée, c'est-à-dire aux variations du tirage, M. Rolland a imaginé une disposition très-simple : l'air peut pénétrer dans le cendrier par deux orifices égaux, percés dans une plaque de tôle horizontale ; ces deux orifices peuvent être fermés par deux plaques horizontales circulaires, d'un plus grand diamètre, placées l'une au-dessus, l'autre au-dessous de l'orifice ;

et ces deux plaques sont suspendues aux deux extrémités du fléau de la balance qui supporte l'appareil à mercure décrit d'abord ; il est évident que l'air entrera dans le canal situé au-dessous des orifices en pénétrant au-dessous de la plaque supérieure et au-dessus de l'autre, et que les variations de tirage seront sans influence.

1738. L'appareil de M. Rolland est trop compliqué, surtout à cause de la condition qu'il s'était imposée, de le soustraire à l'influence des variations du baromètre ; mais il est facile de voir que ces variations ne peuvent produire que des variations de température tout à fait insignifiantes, quand la température à maintenir est très-élevée. Supposons, pour plus de simplicité, que le réservoir d'air du séchoir communique avec un siphon renversé plein de mercure, et que le volume du réservoir d'air soit très-grand relativement à celui du petit tube et de la branche du siphon où se produit la pression ; en négligeant la dilatation du métal et les variations de température de l'air du petit tube et du siphon, qui, dans la supposition que nous avons faite, ne peuvent avoir qu'une influence insensible, l'accroissement de pression pour un accroissement de température de 1°, sera de $0,0366 \times 0,76$ ou de $0^m,00278$ de mercure ; et par conséquent, pour une variation dans la hauteur du baromètre de 0,03, qui est réellement exceptionnelle, la variation de température correspondante serait de $0,03 : 0,00278 = 10°,077$. Ainsi, si la surface libre du mercure portait un flotteur agissant sur la balance de manière à commencer la réduction de l'orifice d'accès de l'air extérieur, quand la température dépasserait 150°, les variations de cette température, par l'influence des variations du baromètre, seraient comprises entre 140° et 160°, ce qui est évidemment sans importance, car la limite de la température que les matières à sécher peuvent supporter sans altération ne peut pas être déterminée à 10° près.

1739. Ainsi, pour les hautes températures, la disposition de M. Rolland peut être simplifiée par la suppression de la partie de l'appareil destinée à éviter les variations du baromètre ; c'est d'ailleurs ce qui existe dans les appareils de torréfaction en activité. L'appareil ainsi réduit est représenté dans la figure 394. AA, caisse en fonte communiquant avec le cendrier du fourneau ; B et B′, orifices d'accès de l'air froid, qui peuvent être plus ou moins diminués par le mouvement des plaques CD et C′D′ suspendues aux extrémités du fléau de balance EF ; dans l'état normal, la distance des plaques mobiles aux orifices B et B′ doit être égale à la moitié du rayon des

orifices, afin que la surface latérale du cylindre ayant pour base la circonférence des orifices et pour hauteur la distance dont nous venons de parler, soit égale à la surface des orifices ; GH, cloche en verre ou en fer renfermant du mercure et suspendue au fléau de la balance ; IK, cloche en verre ou en fer communiquant par le bas avec la cloche GH, et par le haut avec un tube L d'un très-petit diamètre, en communication lui-même avec le réservoir d'air placé dans le séchoir. Dans l'état normal, le poids de la cloche renversée est équilibré par un contrepoids placé sur la plaque CD'. En supposant que la température du séchoir puisse être portée jusqu'à 200°, la différence du niveau de mercure dans les cloches GH et IK pourrait aller jusqu'à 0,278 $\times$ 2 = 0^m,556 : ainsi, en supposant la section du tube IK égale à la section de l'espace annulaire compris entre les deux cloches, la hauteur commune des deux cloches devrait être d'environ 0^m,60, et à la température ordinaire, le mercure devrait s'élever en dedans et en dehors de IK à la moitié de cette hauteur.

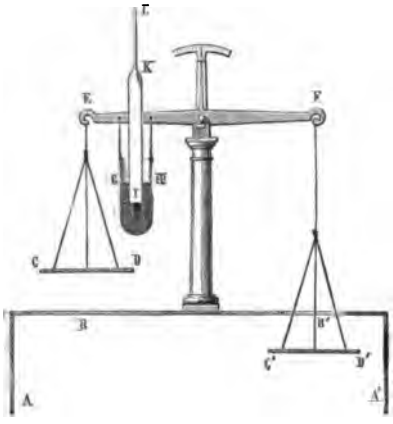


Fig. 394.

Il y aurait plus d'avantage à faire agir la pression de l'air échauffé sur le mercure renfermé dans un siphon MNP (*fig.* 395 et 396), dont la branche ouverte renfermerait un flotteur en fer, soutenu par un fil passant sur deux poulies fixes Q et R, soutenant un poids S, et dont la partie verticale ascendante renfermerait un petit anneau allongé à travers lequel passerait une petite tige horizontale traversant le fléau de la balance. Cette disposition permettrait d'avoir une mesure de la température de l'air chaud, qu'on pourrait indiquer sur une

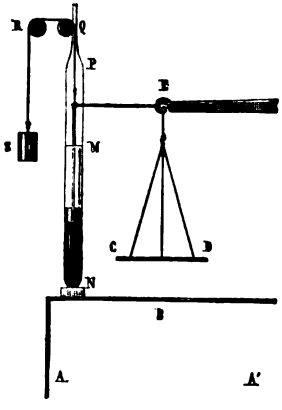


Fig. 395.

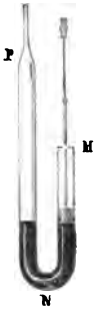


Fig. 396.

échelle placée à côté d'une des branches du siphon ; en les supposant égales en sections, 10° correspondraient à une variation de la hauteur de chaque colonne égale à $0^m,0278 \cdot 0,5 = 0^m,0139$; on pourrait même, à chaque lecture, faire la correction résultant de la hauteur du baromètre : ainsi, si la variation de longueur d'une des colonnes était de $0^m,20$, et si le baromètre était à $0^m,74$, il faudrait retrancher $0^m,02$ de la différence de hauteur des deux colonnes, ou seulement $0^m,01$ d'une seule, et la colonne réduite serait de $0^m,19$, ce qui correspond à $0^m,19 : 0,00139 = 136°$.

1740. L'emploi de la dilatation des métaux ou du mouvement des tuyaux courbes fermés, renfermant seulement de l'air ou de l'air et de l'eau, aurait l'avantage de donner des indications qui ne seraient pas soumises à l'influence du baromètre. A la vérité, les tiges métalliques extérieures, destinées à transmettre le mouvement à la balance, seraient soumises à l'influence des variations de la température extérieure ; mais ces influences sont très-petites : en effet, la dilatation linéaire d'une tige de fer est de 0,00123 de sa longueur primitive, pour une variation de température de 100° ; et pour une longueur de 10 mètres et une température de 20°, l'allongement serait de $0^m,00246$. Ces appareils sont d'une construction plus simple que celui de M. Rolland, et pourraient souvent être préférés, mais en conservant toujours la disposition des plaques d'accès qui évitent l'influence du tirage. Cependant, s'il était important d'avoir la température moyenne sur une grande étendue, les tubes à air pouvant avoir un très-grand développement seraient préférables ; et en employant la disposition indiquée (1739), on obtiendrait avec une grande précision l'excès moyen de la température intérieure sur la température extérieure.

1741. Les appareils fondés sur l'électricité sont trop compliqués ; ils exigent une pile en permanence, et ne peuvent indiquer que la température du lieu où se trouve le thermomètre ; d'ailleurs l'abaissement du registre aurait lieu brusquement en totalité, et non pas progressivement, comme dans les dispositions fondées sur les principes précédents.

1742. Pour les basses températures, l'appareil de M. Rolland devrait être abandonné, parce qu'alors l'influence des variations de température devient trop considérable : il faudrait dans ce cas avoir recours aux appareils fondés sur la dilatation des métaux ou sur les mouvements des tubes fermés.

1743. Tous les appareils dont nous venons de parler sont fondés

sur le rétrécissement de l'orifice d'accès de l'air extérieur dans le foyer ; mais il est important que ce rétrécissement puisse avoir lieu dans une très-grande proportion, attendu que le même poids de combustible peut être brûlé avec des volumes d'air très-différents, suivant la quantité de ce gaz qui échappe à la combustion. Ainsi, si la combustion avait lieu avec un volume d'air double de celui qui est rigoureusement nécessaire, en diminuant la surface de l'orifice d'accès, on augmenterait l'effet produit, et ce ne serait qu'au delà de cette limite que la consommation du combustible diminuerait, en supposant toutefois qu'il ne se formât point d'oxyde de carbone. Il résulte évidemment de là que le mouvement des registres doit être très-grand et qu'ils doivent même pouvoir fermer complétement les orifices.

Après avoir exposé les principes généraux du séchage par l'air ou par le chauffage direct, nous allons examiner les différentes dispositions employées pour les séchoirs.

CHAPITRE VI

Dispositions des séchoirs à air chaud.

1744. On n'a eu longtemps que des idées inexactes sur le séchage par la chaleur ; on pensait que la chaleur seule suffisait, et que le renouvellement de l'air était inutile. D'après cela, les séchoirs étaient exactement fermés, et on les échauffait par des tuyaux métalliques dans lesquels on faisait circuler de l'air chaud ou de la vapeur. Alors il fallait des séchoirs d'une grande capacité, et on devait élever beaucoup la température de l'air pour qu'il pût tenir en dissolution toute la vapeur formée par l'eau qui mouillait les matières à dessécher ; et d'ailleurs, quand la température que devait atteindre l'air était limitée, une fois que l'air était saturé et que sa température devenait constante, l'évaporation cessait complétement, et les matières pouvaient rester indéfiniment dans le même état.

Il paraît que, dans plusieurs ateliers, la ventilation ayant été établie par un accident, tel que la rupture d'une vitre, on reconnut que la dessiccation était plus prompte, et qu'il était avantageux d'avoir une ventilation continue ou seulement intermittente.

1745. Les étuves des raffineries de sucre, qui ont pour objet de dessécher les pains, étaient disposées autrefois d'une manière très-

défectueuse, non-seulement sous le rapport de la ventilation et de l'économie du combustible, mais encore sous celui des chances d'incendie. Ces étuves sont ordinairement des pièces carrées d'une grande hauteur, garnies d'étagères rapprochées, à claire-voie, sur lesquelles les pains de sucre sont rangés en sortant des formes. A la partie inférieure, on plaçait un foyer surmonté d'un dôme en fonte; l'ouverture du foyer était en dehors, ainsi que la cheminée; le dôme en fonte, qui n'avait jamais qu'une petite étendue, rougissait, et échauffait l'air du séchoir. On conçoit, d'après cette disposition, qu'il y avait une énorme quantité de chaleur perdue, parce que la surface de chauffe était souvent dix fois plus petite que celle qui aurait été nécessaire ; aussi l'air qui se dégageait du foyer était à une température très-élevée. De plus, on ne prenait pas la précaution de ménager à l'entrée de l'air de séchage des ouvertures suffisantes. Cette disposition était en outre très-dangereuse, parce que la chute 'dun pain sur la pièce de fonte incandescente risquait d'occasionner l'incendie de l'établissement : c'est ce qui est arrivé plusieurs fois. A la vérité, dans quelques raffineries, on couvrait par une voûte en briques la chaudière de fonte renversée qui répandait la chaleur dans l'étuve; mais alors on empêchait l'air de circuler librement sur la surface de chauffe, dont le rayonnement se trouvait considérablement diminué. Maintenant on évite complétement ces accidents et on économise beaucoup de temps et de combustible, soit en échauffant l'air extérieurement par des calorifères à air ou à vapeur, soit en le chauffant intérieurement par la vapeur. Un registre, placé dans la prise d'air, extérieur ou au sommet du séchoir, permet de régler l'activité de la ventilation. Cette disposition, quoique bien préférable aux anciennes, occasionne certainement beaucoup de perte de chaleur, parce que l'air, s'élevant, suit nécessairement les chemins de moindre résistance et de moindre refroidissement, et à sa sortie n'est certainement pas saturé, surtout à la fin de l'évaporation.

1746. Les séchoirs employés dans les fabriques de toiles peintes consistent en une tour carrée assez élevée, et terminée supérieurement par une galerie en saillie ; lorsque le temps est favorable, les étoffes sont suspendues à l'air libre au moyen de la galerie, et, dans les temps pluvieux et humides, elles sont séchées intérieurement par des courants d'air chaud dirigés de bas en haut. Cette disposition est peu convenable, du moins pour le séchage intérieur; car, comme nous l'avons déjà dit, une grande partie de l'air chaud doit se dégager à la partie supérieure sans être saturé. Ces séchoirs ont été très-

répandus en Alsace. Voici les résultats de plusieurs expériences faites à Mulhouse en 1839; elles feront voir le peu d'effet utile qu'on obtient dans ces appareils.

D'après deux expériences faites par M. Penot sur deux séchoirs différents, on a obtenu dans l'un $1^k,36$ de vapeur d'eau par kilogramme de houille, et dans l'autre seulement $1^k,02$. Dans ce dernier, les murs étaient minces et percés d'un grand nombre de fenêtres, et la température n'a pas pu être portée au delà de 30°.

D'autres expériences faites par le même physicien, en fermant les soupiraux qui se trouvent à la partie supérieure du séchoir, ont donné les résultats suivants : Le premier séchoir avait 2983^{mc} de capacité et $9^m,6$ de hauteur; il était garni de trois soupiraux ayant chacun $1^{mq},6$ de surface. A 1 heure, on introduisit dans le séchoir des toiles qui renfermaient 1050 kilogrammes d'eau ; de 1 heure à 5 heures $\frac{3}{4}$, la température intérieure augmenta progressivement de 23° à 60°, et l'hygromètre diminua constamment de 75° à 30°. Pour obtenir une dessiccation complète des toiles, on brûla 625 kilogrammes de houille; ainsi 1 kilogramme de houille a évaporé $1^k,68$ d'eau. Le séchoir n'était pas complétement fermé. Une autre expérience, faite dans des conditions plus favorables, a donné $2^k,86$.

Dans toutes ces expériences, les opérations n'ont cessé que quand les toiles ont toutes été parfaitement sèches. Mais, en opérant d'une manière continue, c'est-à-dire en enlevant successivement les toiles sèches pour les remplacer par des toiles humides, on obtient de meilleurs résultats.

D'après M. Royer, dans un étendage ayant $9^m,68$ de longueur, $8^m,2$ de largeur, $19^m,28$ de hauteur, pour lequel la surface de chauffe du calorifère était de $70^{mq},5$, avec une consommation moyenne de 25 kilogrammes de houille à l'heure, trois expériences, qui ont duré chacune quinze jours, et durant lesquelles la température moyenne de l'air a toujours été comprise entre 30 et 50°, ont donné pour effet utile moyen $2^k,37$, $2^k,53$, et $2^k,18$ d'eau évaporée par kilogramme de houille.

Ces dispositions de séchoirs sont très-mauvaises, et par la trop grande étendue des surfaces extérieures, et surtout par le mode d'évacuation de l'air. On obtiendrait de bien meilleurs résultats dans des séchoirs peu élevés, à courants d'air continus et à sortie d'air par le bas, et disposés comme nous l'avons indiqué.

1747. Les figures 397 et 398 représentent une disposition très-

commode du foyer et de la cheminée d'appel pour de petits séchoirs. Le calorifère se compose uniquement d'un cylindre de tôle A, renfermant le foyer ; la porte du foyer, celle du cendrier et celle d'appel de l'air sont extérieures. Le cylindre A est environné d'un autre cylindre en tôle, complétement ouvert en dessus, et qui communique par la partie inférieure avec la porte d'accès de l'air. Il se termine à la partie supérieure par un tuyau de tôle FFG, qui s'élève à une cer-

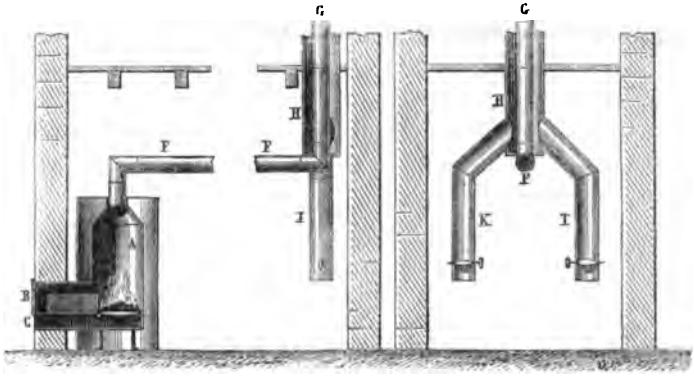


Fig. 397. *Fig.* 398.

taine hauteur, chemine ensuite horizontalement dans toute la longueur du séchoir, puis s'élève verticalement et sort du bâtiment. La dernière partie verticale du tuyau est environnée d'un tuyau d'un plus grand diamètre H, fermé inférieurement, et recevant deux autres tuyaux K et I, qui descendent jusqu'à une petite distance du sol, où ils sont complétement ouverts. Au-dessus des toits, les tuyaux sont terminés, à des hauteurs différentes, par des calottes sphériques, pour éviter l'action des vents sur la sortie de l'air.

1748. Pour les toiles et les étoffes en général, les séchoirs peuvent être réduits à des appareils d'une petite étendue, dans lesquels on fait circuler en sens contraires l'air chaud et la matière à sécher. La figure 399 représente un appareil de cette espèce. ABCD est une caisse en bois, garnie intérieurement d'un grand nombre de cloisons *ab*, *cd*, parallèles, également distantes, s'appuyant alternativement sur les deux faces CD et AB de la caisse. A chaque extrémité de ces cloisons se trouvent des rouleaux très-mobiles. A la partie supérieure et dans l'axe de la caisse sont deux autres rouleaux I et K, et deux autres R et S à la partie inférieure. La caisse est percée, à la partie inférieure, de deux ouvertures E et F, par lesquelles arrive

l'air chaud, et, à la partie supérieure, de deux autres ouvertures G et H, qui communiquent avec la cheminée d'appel. Une toile sans fin passe sur tous les rouleaux, et on la fait marcher de manière qu'elle parcoure la caisse de haut en bas. Il est facile de voir, à l'inspection de la figure, que les orifices E et F donnent de l'air chaud, chacun sur une face de l'étoffe, et que, si le courant d'air chaud et la vitesse de la toile sont convenables, la toile sortira complétement sèche. Le mouvement de l'air chaud peut être produit par un ventilateur aspirant ou soufflant, ou par une cheminée d'appel.

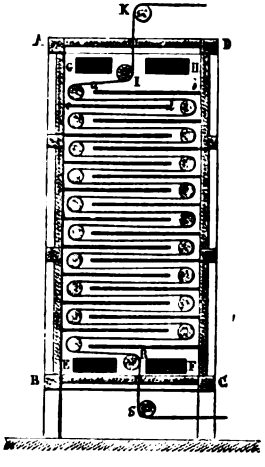


Fig. 399.

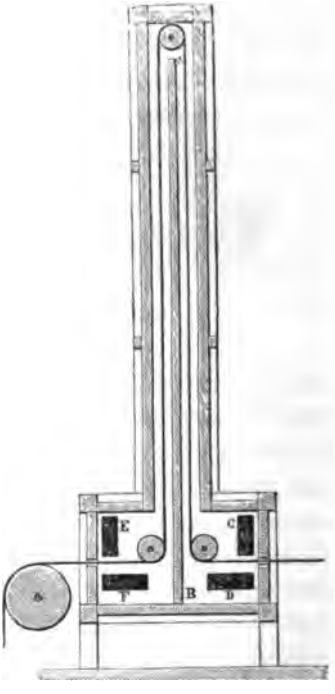


Fig. 400.

L'appareil représenté par la figure 400 est analogue à celui que nous venons de décrire, mais beaucoup plus simple. La cloison AB divise la caisse en deux parties; les orifices C et D amènent l'air chaud, et les orifices E et F permettent l'écoulement de l'air humide.

1749. Dans ces deux appareils, le mélange d'air et de vapeur doit s'échapper à une température peu différente de la température extérieure, parce qu'il sort après avoir rencontré les étoffes froides;

ainsi, l'air saturé renfermant peu de vapeur, ces appareils doivent exiger une certaine dépense de travail pour mettre en mouvement le volume d'air nécessaire au séchage. Cette circonstance ne se rencontre pas dans les séchoirs ordinaires, parce que les matières y sont fixes et qu'elles s'échauffent progressivement par la condensation d'une partie des vapeurs produites dans les parties supérieures du séchoir. Ces deux appareils pourraient facilement être modifiés de manière à ne laisser sortir le mélange qu'à une température peu inférieure à 100°. Il suffirait que les cloisons *ab* du premier et la cloison AB du second fussent chauffées par un moyen quelconque, afin d'échauffer l'air à mesure qu'il se refroidirait en produisant de la vapeur. Dans la disposition de la figure 400, le mode de chauffage le plus simple consisterait à former la cloison AB avec une série de petits tubes parallèles, communiquant par le haut et par le bas avec des tubes horizontaux, dont l'un amènerait la vapeur, et dont l'autre ferait écouler l'eau du condensateur. Le mélange pourrait sortir à une température très-voisine de 100°. En plaçant deux autres séries de tubes parallèles à AB de l'autre côté de l'étoffe, contre les cloisons de bois, on augmenterait beaucoup la quantité de matière séchée dans un temps donné. Si la vapeur était à une température supérieure à 100°, les vapeurs produites s'écouleraient d'elles-mêmes sans l'intervention de l'air; les orifices C et D devraient être supprimés, et il suffirait que les orifices E et F communiquassent avec l'air extérieur. Dans ce dernier cas, en supposant que l'appareil soit enveloppé de matières conduisant mal la chaleur, et d'une épaisseur suffisante, la quantité de vapeur formée serait égale à celle qui se condenserait dans les tuyaux. Ces derniers devraient avoir des surfaces ternes, afin d'émettre le plus de chaleur possible par le rayonnement.

1750. La figure 401 représente une coupe transversale d'un séchoir à draps. Ces séchoirs, qu'on désigne ordinairement sous le nom de *rames*, doivent contenir de l'air à une température supérieure à 40°; ils renferment deux tuyaux à vapeur A, A′, qui les parcourent dans toute leur longueur. Ces tuyaux sont enveloppés de planches, de manière que l'air échauffé autour d'eux puisse s'échapper par la partie supérieure. L'air froid arrive par des orifices nombreux B, placés au-dessous des tuyaux. Les draps sont tendus sur des traverses horizontales D, D, qui laissent entre elles un intervalle de $0^{m},10$ environ; les pièces C′, C′ sont seulement suspendues aux traverses D′, D′. L'air chaud s'élève contre les surfaces des quatre nappes

de drap centrales C,C, et descend contre les deux surfaces des nappes extrêmes C′,C′, pour gagner les orifices E, qui sont uniformément

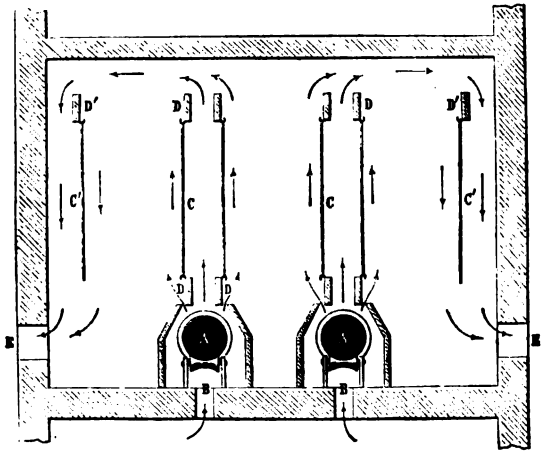


Fig. 401.

distribués dans la longueur du rame, et communiquent avec la cheminée d'appel.

1751. La figure 402 représente une coupe verticale d'un séchoir à étoffes, construit, il y a plusieurs années, par M. René Duvoir, pour une blanchisserie. Les pièces de calicot sont suspendues verticalement à des pièces de bois *a*, *a*, *a* qui forment un plancher à claire-voie, sur lequel les ouvriers peuvent marcher pour aller étendre les pièces dans toutes les parties du séchoir. Trois calorifères, placés au-dessous du sol, lancent l'air chaud à la température moyenne de 120° dans un canal en briques, d'où il s'échappe latéralement par un grand nombre d'ouvertures *o*, *o*, *o*..... fermées par des portes à coulisses qui permettent de le répartir également des deux côtés. L'air chaud s'élève d'abord; il est ensuite obligé de descendre pour gagner les orifices des cheminées d'évaporation, dont une partie se trouvent au bas du séchoir en A, A, et l'autre en B, B, à moitié de sa hauteur. On n'ouvre ces dernières qu'au commencement de l'opération, et on les ferme ensuite complétement, afin que l'air soit obligé de descendre jusqu'à la surface du sol. Les cheminées se réunissent trois à trois, et forment de chaque côté un seul corps qui s'élève au-dessus du toit.

Dans cet appareil, on sèche, en 6 heures, 150 pièces de calicot, qui contiennent ordinairement 1130^{k} d'eau. La consommation de

houille est de 4 hectolitres ou 320 kilogrammes, ce qui correspond à une évaporation de 1130 : 320 = 3^k,52 par kilogramme de houille.

Le volume d'air lancé dans le séchoir était de 55,000^{mc}. La température extérieure étant de 25°, on a trouvé que la température de sortie à l'extrémité des cheminées était en moyenne de 38°. Il est

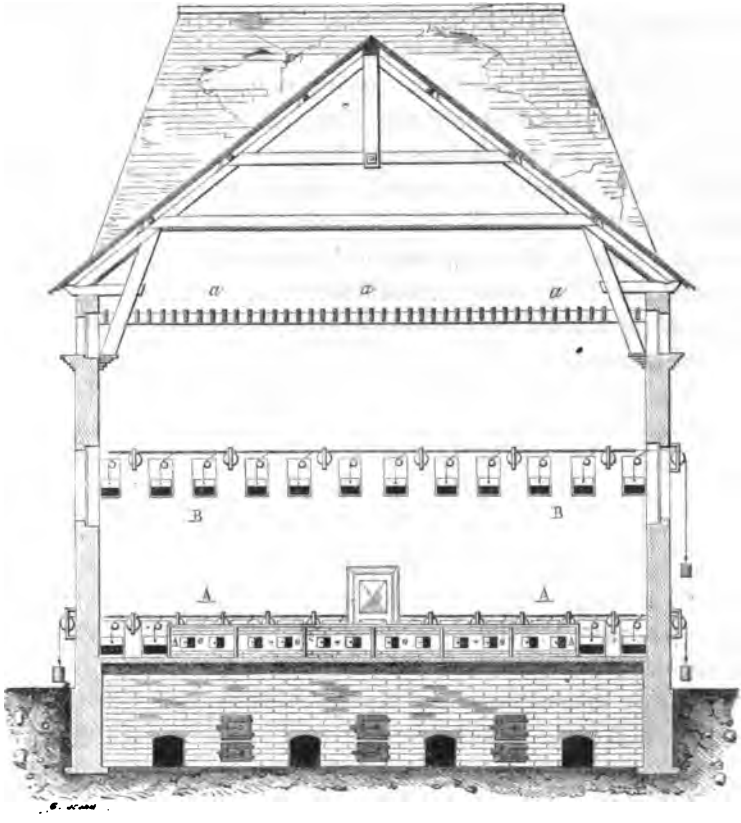


Fig. 402.

facile de s'assurer, par un calcul très-simple, que l'air qui sort est loin d'être saturé : c'est ce qui doit arriver surtout à la fin des opérations, quand le séchage est sur le point d'être terminé ; il y a alors une grande perte de chaleur. Le principal inconvénient de ce séchoir réside dans l'impossibilité de répartir uniformément les courants d'air chaud et dans les irrégularités qui en résultent.

1752. Dans un grand nombre de circonstances, il est facile d'utiliser pour le chauffage de l'air, et par suite pour le séchage, une

partie de la chaleur perdue des générateurs et des autres fourneaux, dans lesquels on peut abaisser la température de la fumée sans nuire au tirage, attendu que presque toujours les cheminées ont un grand excès de tirage qui est constaté par l'abaissement permanent du registre.

M. René Duvoir a établi dans la même blanchisserie un appareil composé de tuyaux verticaux en fonte, chauffés extérieurement par la circulation de la fumée à la sortie du générateur. Ces tuyaux communiquent par le bas avec l'air extérieur, et par le haut avec le séchoir ; l'air y prend une température de 100°. Le volume d'air fourni par l'appareil dans une heure s'élève à 3750me lorsque la température extérieure atteint 25° ; la quantité de chaleur utilisée devient alors de 3750. 1,23. 75. 0,24=87,747 calories, ce qui correspond à peu près à l'effet utile réel de 21 kilogrammes de houille dans les calorifères. L'expérience a confirmé exactement ce résultat. Dans un séchoir qui exigeait auparavant 240 kilogrammes de houille en 6 heures, pour le séchage des pièces de calicot qu'il contient, on n'en consomme plus que 120 kilogrammes pour produire le même effet dans le même temps. La consommation des générateurs est de 130 kilogrammes par heure. Le calorifère refroidit la fumée de 400° à 200°. Ces nombres s'accordent d'une manière très-satisfaisante avec ceux que nous avons donnés sur la température de la fumée ; en supposant que toute la chaleur produite par 1 kilogramme de houille serve à chauffer les 18me d'air employés à sa combustion, la température de la fumée serait à peu près de 1200° ; un refroidissement de 200° correspond à un sixième du combustible, et le sixième de 130 est 21.

1753. Les dispositions que doivent affecter les séchoirs à air chaud peuvent être rendues très-différentes par la nature même des matières à sécher. Dans certains cas la substance pourra supporter une température élevée, dans d'autres cas, au contraire, la température de dessiccation ne pourra pas dépasser une limite assez basse ; on pourra quelquefois sans inconvénient porter immédiatement la substance à la température la plus élevée qu'elle doit subir. il faudra d'autres fois n'échauffer la substance que progressivement et au fur et à mesure que la dessiccation se complétera. Ce dernier cas est celui de la colle gélatine qui au début contient jusqu'à 80 p. 100 d'eau et ne peut guère supporter une température dépassant 15° ; une température supérieure la ferait fondre ; vers la fin de l'opération on peut sans inconvénient la soumettre à une température de 75° ; voici les dispositions adoptées par MM. Geneste fils et Herscher

frères dans différentes fabriques de colle de Givet, celles de MM. Albéric Parent, Charles Baux, etc.

On établit une grande chambre d'environ 50 mètres de longueur sur 6 mètres de largeur et 2 mètres de hauteur, ce qui correspond à une production de 1000 kilogrammes de colle sèche par jour. Cette galerie est absolument ouverte à ses deux extrémités, comme on le voit dans la figure 403 qui montre le plan du séchoir. En OP est établie une cloison dans laquelle sont réservées deux ouvertures de 2 mètres de diamètre, destinées à recevoir deux hélices ventilatrices mues par une transmission; les hélices déterminent le déplacement d'un grand volume d'air à faible vitesse suivant le sens indiqué par les flèches. Dans l'espace AOCP, qui a 6 mètres de longueur, se trouve établi un puissant calorifère à vapeur alimenté par l'échappement des machines; ce calorifère peut être remplacé par des poêles ou calorifères à air chaud dans les cas où on n'a pas de vapeur d'échappement. A 6 mètres de distance de la cloison OP, en GH, se trouve une cheminée en maçonnerie ayant 4 mètres dans le

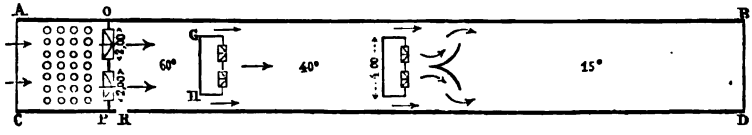


Fig. 403.

sens de la largeur et laissant par conséquent un passage de 1 mètre libre de chaque côté, soit en tout une section de passage de 4 mètres à l'air qui vient de la chambre OPGH. Sur la face de cette cheminée opposée au calorifère sont pratiquées deux ouvertures de 2 mètres de diamètre munies également de deux hélices prenant l'air extérieur à la partie haute de la cheminée et le refoulant dans la salle où il se mélange avec celui qui vient de la salle précédente. A une distance de 12 mètres de cette première cheminée s'en trouve une autre toute semblable, de sorte que le séchoir se trouve divisé en quatre chambres, savoir : Une chambre de 24 mètres de long, recevant les colles fraîches des trois premiers jours, en communication directe par son extrémité BD avec l'air extérieur; une chambre de 12 mètres de long, à la suite de la première, recevant les colles des 4e, 5e, 6e et 7e jours. Une chambre de 6 mètres recevant les colles des trois derniers jours; enfin une chambre de 6 mètres qui contient le calorifère. Il en résulte que les colles introduites humi-

des à l'extrémité BD du séchoir sont extraites dix jours après par la porte R, le séchoir contient donc la totalité de la fabrication de dix jours, soit l'équivalent de 10,000 kilogrammes de colle sèche.

La température est réglée de telle façon qu'il y a 15 à 20° dans la chambre des trois premiers jours, 40° dans la chambre intermédiaire et 60° dans la chambre des trois derniers jours.

Les colles sont placées sur des filets à la façon ordinaire; elles se rétrécissent en séchant, ce qui fait qu'on peut placer dans la chambre intermédiaire beaucoup plus de colle que dans la chambre aux colles fraîches pour une même étendue superficielle; on doit remarquer que la lenteur du séchage, surtout dans les premiers jours, est une condition de la bonne qualité du produit; les colles de 0,01 d'épaisseur, qui contiennent de l'eau dans toute leur masse, ne doivent pas être soumises à un séchage trop prompt, autrement il se formerait à la surface une croûte dure et sèche qui emprisonnerait l'eau à l'intérieur et empêcherait le séchage complet.

Le séchage de 1000 kilogrammes de colle par 24 heures, c'est-à-dire l'évaporation d'environ 3000 kilogrammes d'eau nécessite une dépense qui peut s'évaluer de la façon suivante : 3000 kilogrammes d'eau exigent, pour être évaporés, environ $3000 \times 600 = 18,000,000$ calories, et, en supposant que 1 kilogramme de charbon fournisse utilement 2000 calories, la consommation en charbon sera de 900 kilogrammes; d'autre part, la force motrice nécessaire à la marche des hélices est d'environ 10 chevaux et la durée du travail journalier est de 15 heures, ce qui, en supposant une consommation de 3 kilogrammes de houille par cheval et par heure, donne une dépense journalière de charbon égale à $10 \times 3 + 15 \times 450$ kilogrammes. La dépense totale sera donc pour une journée de travail de $900 + 450 = 1850$ kilogrammes de houille, et si le prix de revient de la houille est de 40 francs la tonne, la dépense en argent sera de $1,350 \times 40 = 54$ francs soit 0 fr.,018 par kilogramme d'eau évaporée. Dans le cas où le chauffage pourrait être considéré comme gratuit, c'est-à-dire quand on emploie la vapeur d'échappement des machines, le prix de l'évaporation se réduirait à 0 fr.,006. Il faudrait cependant ajouter à cette dépense celle qui résulte de la main-d'œuvre nécessaire au mouvement de la substance dans l'étuve.

1754. Comme exemple d'un cas tout particulier de séchage à air chaud nous décrirons un appareil connu sous le nom de dégoudronneur, imaginé par M. Galland, de Nancy, et établi par MM. Geneste fils et Herséher frères. Cet appareil a pour but d'évaporer presque

instantanément l'eau qui reste adhérente à l'intérieur des fûts après leur lavage, sans échauffer le bois lui-même, et par extension il a servi à résoudre le problème du dégoudronnage des tonneaux à bière. L'appareil se compose (*fig.* 404) d'un foyer cylindrique A en terre réfractaire, portant une grille à la partie inférieure et fermé par un couvercle hermétique en fonte B. Les produits de la combustion suivent à la sortie du foyer le parcours CFNH; le tuyau C traverse une boîte L dans laquelle arrive de la vapeur par le tuyau *e*, cette vapeur se dessèche dans cette boîte et suit ensuite le tuyau X pour sortir par un orifice placé dans l'axe du tuyau FH; cet orifice a un millimètre de diamètre, et le jet de vapeur qui s'en échappe détermine un tirage actif dans le tuyau FH et par suite dans le foyer, les gaz

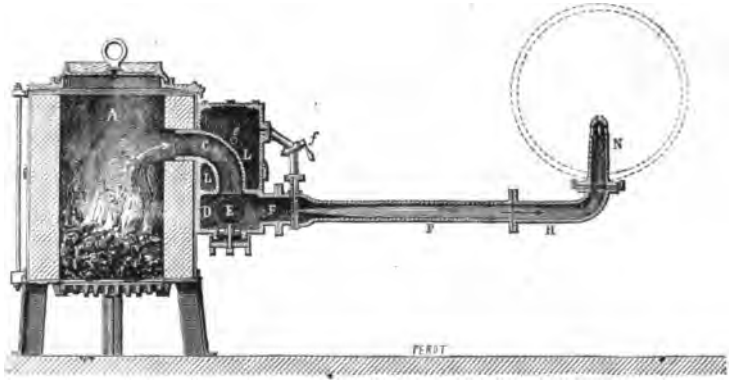


Fig. 404.

s'écoulent dans le tuyau FH à une vitesse de 50 mètres par seconde; l'extrémité N du tuyau est percée d'orifices par lesquels s'échappe le mélange de gaz et de vapeurs à une très-haute température; c'est sur cet ajutage N que s'enfile la bonde du tonneau; celui-ci se trouve desséché si rapidement par l'arrivée des gaz chauds, que le bois qui forme la paroi du tonneau n'a pas le temps de s'échauffer sensiblement.

Cet appareil forme un chalumeau dont le diamètre peut atteindre 6 centimètres et qui peut recevoir un grand nombre d'applications, toutes les fois, par exemple, qu'il s'agira d'obtenir de hautes températures localisées.

1755. *Conditionnement des soies.* — Dans le langage de l'industrie, *conditionner* une matière textile, c'est déterminer la quantité

d'eau qu'elle contient. Cette opération est évidemment d'autant plus importante que la matière est d'un prix plus élevé. Elle s'exécute partout sur la soie, en desséchant complétement un certain nombre d'échantillons. C'est à M. Talabot qu'on doit les premiers bons appareils de conditionnement. Ils consistaient en deux cylindres concentriques en tôle, dont l'intervalle était constamment rempli de vapeur d'eau. L'échantillon était suspendu au centre du cylindre intérieur, à une balance très-sensible, et la partie supérieure était fermée par un couvercle; la matière à sécher, chauffée par le rayonnement de la surface intérieure et par les courants qui s'établissaient dans le cylindre, finissait par atteindre une température un peu supérieure à 100°, et la vapeur produite s'échappait par une fente étroite, ménagée dans le couvercle. L'opération était terminée quand la balance, remise de temps en temps en équilibre par la suppression de poids, finissait par y demeurer d'une manière constante ; ce qui indiquait évidemment que le corps ne perdait plus d'eau. Cet appareil a été modifié par M. Persoz : la vapeur est remplacée par l'air chaud, qui circule d'abord entre les deux enveloppes, et parcourt ensuite le cylindre intérieur de haut en bas. La dessiccation est ainsi rendue plus rapide, parce que la surface du cylindre intérieur est portée à une plus haute tempé-

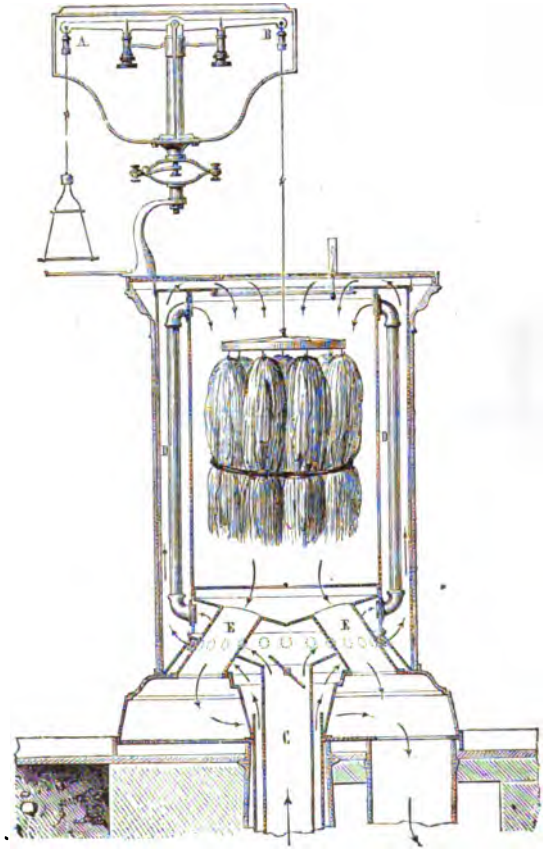


Fig. 405.

rature, et que l'air, en descendant, se répartit uniformément à travers le corps à dessécher.

La figure 405 représente une coupe de l'appareil. AB est le fléau d'une balance de précision, supportant à l'extrémité A un plateau qu'on allége successivement pendant l'opération, et, à l'extrémité B, les flocons de matières à sécher; le fil de suspension passe à travers un petit trou pratiqué dans le couvercle du cylindre intérieur; l'air chaud, qui arrive du calorifère par le tuyau C, s'élève par 32 petits tubes D placés entre les deux cylindres concentriques, qui débouchent à la partie supérieure du cylindre intérieur; il s'échappe par les tuyaux E,E qui communiquent avec une cheminée d'appel.

Cet appareil est établi dans un grand nombre de conditions de soie.

CHAPITRE VII

Séchage du linge.

1756. Lorsque le linge a subi toutes les opérations qui constituent le blanchissage, il faut le sécher, et le plus promptement possible, parce que l'humidité prolongée altère sa solidité et sa blancheur. La plus grande partie de l'eau est enlevée par l'égouttage, le tordage, la presse ou l'essoreuse (1671 et suiv.). La quantité d'eau que le linge retient encore, après avoir été soumis à l'action mécanique, est très-variable, suivant la nature des tissus et l'énergie de la puissance mécanique à laquelle il a été soumis. On peut admettre en moyenne qu'il en renferme 0,5 de son poids.

Le séchage s'effectue souvent à l'air libre; on étend le linge sur des cordes horizontales, fixées à une certaine distance du sol. Souvent le séchoir est placé dans des combles dont les parois latérales sont formées de persiennes. Ce mode de séchage, qui dépend à la fois, comme nous l'avons dit, de la température de l'air, de son état hygrométrique et du vent, est très-irrégulier, quelquefois rapide, d'autres fois très-lent, et toujours incertain. Le séchage par l'air mis en mouvement par une action mécanique échapperait à l'influence du vent, mais il serait soumis à tous les autres. On pourrait le rendre régulier en desséchant l'air; mais les frais seraient plus considérables qu'en employant la chaleur seule : aussi toutes les blanchis-

series doivent-elles être pourvues d'un séchoir à air chaud pour régulariser le travail ou pour le rendre plus rapide.

1757. Les séchoirs de la plupart des blanchisseurs se composent simplement d'une chambre close dans laquelle le linge est étendu, et où se trouve un poêle avec ses tuyaux à fumée d'un grand développement. L'air extérieur pénètre autour du poêle, et s'échappe par une cheminée communiquant avec le bas du séchoir ; quelquefois le linge est suspendu sur des châssis à roulette, qui peuvent facilement sortir du séchoir.

1758. En 1850, une commission nommée par M. Dumas, ministre des travaux publics, fut chargée d'étudier la question si importante des bains et lavoirs publics destinés à la classe ouvrière. M. de Saint-Léger, ingénieur en chef des mines, fut chargé de visiter les établissements de l'Angleterre. Les rapports de cette commission, publiés par l'ordre du ministre, renferment un grand nombre de renseignements intéressants que je vais résumer.

1759. Dans l'établissement de Easton-Square, à Londres, qui renferme des bains et des lavoirs publics, il y a 16 cabinets de séchage

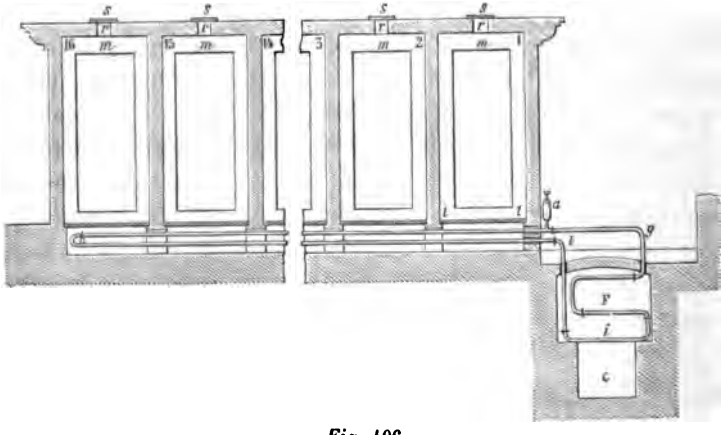


Fig. 406.

du linge adossés à un mur ; l'ensemble de ces cabinets occupe environ 18 mètres de longueur sur $1^m,60$ de profondeur et 2 mètres de hauteur. Cet espace est divisé par des cloisons transversales de maçonnerie légère, en 16 compartiments égaux de $1^m,125$ de largeur (*fig.* 406). On entre dans chacun des cabinets par une porte en bois *m*, de $1^m,80$ de hauteur. Chacun est percé à la partie supérieure d'un orifice *r*, fermé par une soupape *s*, qu'on soulève à volonté. Le

sol de ces cabinets est formé par des plaques de tôle *t*,*t*, percées d'un grand nombre de trous. Au-dessous se trouvent 20 tuyaux parallèles (système Perkins) dans lesquels circule de l'eau à une haute température ; ils ont 0m,025 de diamètre extérieur, 0m,012 de diamètre intérieur. Chacun d'eux forme un circuit fermé *ighk*, disposé comme l'indique la figure ; les tuyaux qui se trouvent à la partie la plus basse du circuit forment la grille du foyer F ; au-dessous est le cendrier C. Les variations de volume de l'eau en circulation s'effectuent dans le vase *a*. Au-dessous de chaque cabinet, la surface des tuyaux de chauffe s'élève à 3m,60. D'après M. de Saint-Léger, la température des tuyaux dépasserait 266°. Les femmes étendent leur linge le mieux possible sur les nombreuses traverses de grands chevalets en bois, de 1m,40 de longueur, 0m,40 de largeur, et 1m,70 de hauteur : ces chevalets sont placés dans les cabinets, dont les portes sont ensuite fermées. Daprès les renseignements fournis sur les lieux à M. de Saint-Léger, l'air extérieur ne peut entrer que par les fissures des portes ; on soulève les soupapes, quelque temps après le commencement du séchage, pour donner issue à la vapeur formée ; puis on les ferme, pour ne les ouvrir qu'à la fin de l'opération. Le séchage dure environ une demi-heure. Le rapport ne contient aucun renseignement sur la quantité d'eau évaporée, ni sur la quantité de coke consommée.

1760. Dans l'établissement de Goulston-Square, à Londres, qui, ainsi que le précédent, renferme des bains et des lavoirs publics, le séchoir est disposé d'une manière très-différente. La figure 407 en représente une coupe transversale. A et B, tuyaux de fonte que la fumée d'un foyer à coke parcourt successivement en sens contraire : chacun d'eux a la longueur du séchoir. Le canal en maçonnerie dans lequel ils sont placés a 1m,30 de largeur, 10 mètres de longueur, et environ 0m,50 de profondeur. CD, pièces de fonte qui supportent un grillage de fil de fer galvanisé, qui s'étend sur toute la longueur et la largeur du canal. GHIK, châssis en fer, garni de pièces longitudinales L, L en fer galvanisé ; les deux faces opposées, GH et IK, sont pleines, de manière à fermer complétement l'ouverture de la face antérieure du séchoir, quand le châssis est complétement en dedans ou en dehors du séchoir. On fait mouvoir ces châssis au moyen de la poignée M ; ils sont supportés par des poulies, N et P, qui roulent sur des rails EF. Les châssis ont 1m,95 de hauteur, 0m,34 de largeur et 1m,60 de longueur. Q, canal d'écoulement des vapeurs ; il communique avec le séchoir par des ouvertures garnies de soupapes

qu'on ouvre à volonté. Lorsque le linge d'un châssis est sec, on fait glisser celui-ci sur ses roulettes, jusqu'à ce que la face IK vienne fermer l'ouverture du séchoir ; on enlève alors le linge sec, on le remplace par du linge humide, et on enfonce de nouveau le châssis. La capacité du séchoir est de 32^{mc}, et la surface de chauffe est

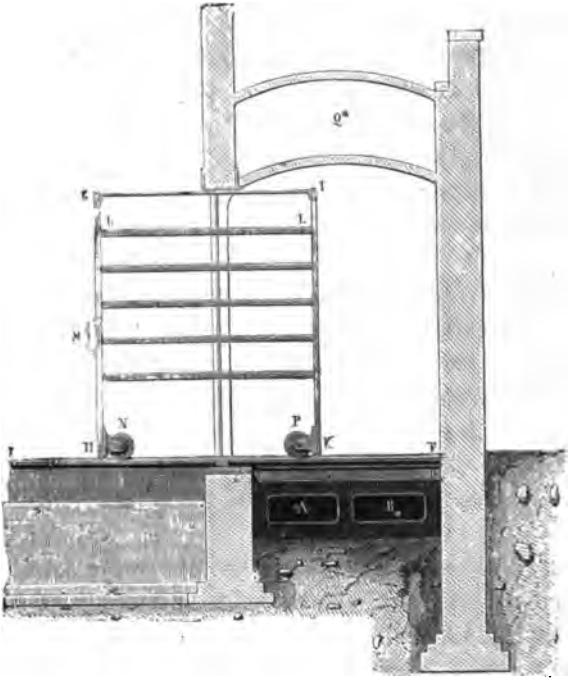


Fig. 407.

de 30^{mq}. M. de Saint-Léger n'a pas vu fonctionner l'appareil : mais, d'après les résultats obtenus dans celui de Easton-Square, il n'est pas douteux que cette nouvelle disposition ne réussisse parfaitement, d'autant plus que les surfaces de chauffe peuvent être élevées à une plus haute température. Le projet est de laisser les registres fermés jusqu'à ce que la température intérieure se soit élevée à 100° ; on doit alors ouvrir convenablement les soupapes, de manière que cette température soit maintenue. M. Hawes assure que le procédé est d'autant plus rapide et plus économique, que l'air éprouve plus de difficulté à se renouveler.

1761. L'établissement de bains et lavoirs publics de Saint-Martin des Champs (à Londres), contient des cases à sécher, disposées d'une

manière particulière ; elles sont placées à la suite l'une de l'autre, de manière à n'être séparées que par des murs de refend. Leur face supérieure est à $3^m,60$ de la surface du sol, leur face inférieure à $1^m,80$, et cette dernière face est formée par le fond du chevalet, qui porte le linge à sécher, qu'on élève ou qu'on abaisse par des cordes passant sur des poulies. La face supérieure est percée d'une ouverture garnie d'un registre mobile. Les cases sont chauffées par un calorifère à eau chaude (système Perkins) ; les tuyaux, de même dimension que dans le séchoir de Easton-Square, traversent horizontalement toutes les cases : dans chacune il y a deux rangées de tuyaux parallèles, à une distance de $0^m,02$ à $0^m,03$ des surfaces intérieures. Le nombre des tuyaux est de 10 : c'est dans leurs intervalles que le linge à sécher est suspendu sur les traverses du chevalet. La surface des tuyaux de chauffage d'une case est de $1^{mq},18$; la capacité de la case est de $0^{mc},756$. Le séchage dure de 15 à 30 minutes. La consommation de combustible est beaucoup plus grande que dans le séchoir de Goulston-Square.

1762. M. de Saint-Léger cite dans son mémoire les résultats de deux expériences faites dans les ateliers de M. Healy, avec des appareils semblables à ceux de Saint-Martin. L'appareil était composé de trois cases en bois ; chacune avait $1^m,45$ de longueur, $1^m,23$ de hauteur, $0^m,19$ de profondeur, et $0^{mc},339$ de capacité. A la partie supérieure de chaque case était une ouverture de $0^m,02$, fermée par un registre mobile. La surface de chauffe était de $0^{mq},91$ par case. Les expériences ont duré 8 heures. Dans deux expériences partielles, on a tenu compte de la quantité d'eau évaporée, dont les poids ont été, dans une seule case et en 30 minutes, de $1^k,40$ et $2^k,60$. Il est fâcheux qu'on n'ait pas mesuré le combustible consommé ; cette mesure n'a été faite que dans des expériences où on négligeait d'observer la quantité d'eau vaporisée. La quantité de coke brûlé par heure a été de $2^k,55$ pour les 3 cases. En supposant que tout se soit passé comme dans les expériences partielles dont nous venons de parler, la consommation par case aurait été de $0^k,85$ pour vaporiser $2^k,60$ d'eau, ce qui donnerait 3 kilogrammes de vapeur par kilogramme de coke. L'ingénieur qui a construit ces appareils y a probablement reconnu des inconvénients ; car, depuis la construction de l'appareil de Saint-Martin, tous ceux qu'il a projetés ont été disposés d'une manière différente.

1763. Dans un projet de séchoir pour l'établissement de Hull, dans l'East-Riding, qui était en voie d'exécution au moment de l'en-

quête, M. Baly a supprimé les chevalets mobiles; il conserve la circulation Perkins, mais il place tous les tuyaux dans un même plan vertical, au milieu de la case. Ce sont les tuyaux eux-mêmes qui supportent le linge; seulement chacun d'eux doit être entouré d'un manchon en fil de fer galvanisé, maintenu à une certaine distance, pour empêcher le linge de toucher les tuyaux. En outre, les tuyaux devront occuper la partie supérieure des cases.

1764. Dans un projet, aussi en exécution à la même époque, pour un établissement de bains publics et de lavoirs de Westminster à Londres, où l'une des principales conditions imposées était l'économie dans les frais de premier établissement, M. Baly a adopté la disposition de Goulston-Square.

1765. Dans l'établissement de Saint-Marylebone à Londres, qui était aussi en construction, en 1850, les cases des séchoirs étaient disposées comme à Saint-Martin des Champs, c'est-à-dire élevées au-dessus du sol, et fermées en dessous par la plaque du chevalet, quand il était renfermé dans la case. Le chauffage devait avoir lieu par la vapeur à basse pression; l'appareil devait être formé de deux tuyaux verticaux placés aux deux extrémités du fond, communiquant entre eux par 32 petits tuyaux. Cette espèce de grille verticale était au fond de la caisse et derrière le chevalet, et séparée du linge par une grille légère en bois. Les cases devaient avoir $1^m,52$ de longueur, $0^m,305$ de profondeur, et $1^m,83$ de hauteur; les gros tuyaux de chauffage, $0^m,06$ de diamètre; les petits, $0^m,025$; les premiers devaient être en fonte, les seconds en fer étiré de $0^m,0015$ d'épaisseur, et les assemblages devaient être faits au mastic de fonte. Capacité d'une case, $0^{mc},847$; surface de chauffe, $3^{mq},80$. Dans des expériences faites sur une seule case, on a trouvé qu'une couverture mouillée, contenant $1^k,300$ d'eau, en contenait encore, après 1 heure, $0^k,172$; après 1 heure $\frac{1}{4}$, seulement $0^k,058$; après 1 heure $\frac{1}{2}$, elle était complétement sèche. La température moyenne de la case était de 58°. Un courant d'air la traversait constamment.

1766. De tout ce que nous venons de rapporter, il résulte évidemment, suivant l'avis de M. de Saint-Léger, que le mode de séchage par la méthode employée dans l'établissement de Goulston-Square est à la fois le plus simple et le plus économique, sous le rapport des frais d'établissement et de la consommation du combustible. Le chauffage Perkins, par de petits tuyaux à eau chaude, doit être abandonné, parce que la dépense d'établissement est très-considé-

rable, et que la fumée se dégageant nécessairement à une température élevée, la chaleur est bien moins utilisée que dans le cas du chauffage direct de l'air; en outre, les tuyaux qui environnent le foyer exigent des réparations assez fréquentes. La disposition des tiroirs est ingénieuse et commode. Enfin les surfaces de chauffe sont disposées de manière que la température moyenne des tuyaux, au-dessous de chaque tiroir, est sensiblement constante; et, en modérant la consommation, on peut n'abandonner la fumée qu'à une température peu supérieure à 100°. On pourrait très-facilement augmenter l'effet des surfaces de chauffe, en plaçant entre les deux tuyaux une lame métallique ou un petit mur en briques de champ, qui serait échauffé par le rayonnement des faces voisines. Il faudrait aussi que les orifices de dégagement de la vapeur fussent fermés par des registres équilibrés de manière à s'ouvrir sous un très-petit excès de pression.

D'après les renseignements recueillis par M. de Saint-Léger, le séchage dans tous les appareils décrits aurait lieu par la chaleur et par un courant d'air. Il est sûr, en effet, qu'il s'introduit une certaine quantité d'air par les joints des têtes des tiroirs; mais ce n'est qu'un accident.

Dans aucune description il n'est question d'orifices d'accès de l'air extérieur, qui d'ailleurs seraient tout à fait inutiles, la température pouvant dépasser 100°. Ainsi, à mon avis, dans ces séchoirs, l'effet est en très-grande partie produit par la formation directe de la vapeur, et les courants d'air sont surtout nuisibles à la fin de l'opération, parce qu'alors l'air se dégage non saturé. On conçoit facilement, en effet, que la chaleur peut aussi bien se transmettre, par les mouvements de bas en haut et de haut en bas de la vapeur surchauffée, que par l'air mêlé de vapeur. La transmission par la vapeur est même plus facile, parce que sa capacité calorifique est plus grande que celle de l'air.

Il ne serait pas impossible de disposer ces appareils de manière à utiliser une partie de la chaleur de la vapeur; il suffirait pour cela, comme je l'ai déjà dit, de faire écouler la vapeur par des tuyaux autour desquels on chaufferait de l'air, qui serait employé à produire dans un appareil à part un commencement de séchage; mais cela amènerait une certaine complication.

1767. La figure 408 représente un séchoir construit par MM. Bouillon et Muller, et destiné au séchage du linge. Il se compose : d'un calorifère placé à la partie inférieure du séchoir proprement dit, dans

lequel le linge est étendu, et d'une cheminée d'appel qui produit dans le séchoir une circulation d'air.

Le calorifère se compose d'un foyer F en fonte, placé latéralement; l'air brûlé, à sa sortie, parcourt une série de tuyaux A, B, placés dans un même plan horizontal et fermés aux extrémités par des tampons mobiles, qu'on peut enlever facilement pour le nettoyage. Il se rend de là par un tuyau dans une cheminée R qui produit le tirage.

L'air de ventilation arrive par un canal souterrain C; il est chauffé dans le calorifère, et entre dans le séchoir S par une ouverture *a*, régnant sur toute la longueur. Il monte d'abord à la partie supérieure, et redescend ensuite pour s'écouler par les orifices *b*, *b*, placés au bas du séchoir, et se rendre, par des conduits *dd'*, *cc'*, ménagés de chaque côté dans l'épaisseur des parois, dans une che-

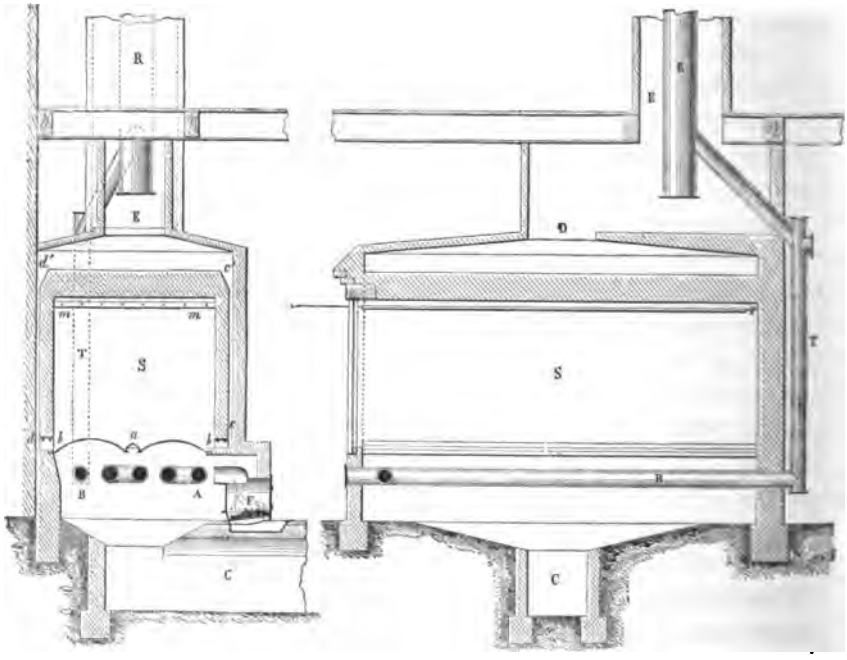


Fig. 408.

minée E en briques qui entoure la cheminée en tôle du calorifère. Le linge mouillé est étendu sur des espèces de manchons, de la longueur du séchoir, reposant sur des tringles *m*, de longueur double. Les manchons peuvent glisser sur ces tringles de manière à pouvoir être amenés séparément à l'extérieur. On peut ainsi facilement étendre

le linge, et l'enlever quand il est sec, sans entrer dans le séchoir, qui a autant de petites portes qu'il y a de tringles *m*. Cette disposition diminue beaucoup les pertes de chaleur qui résulteraient de l'ouverture totale d'une face du séchoir, pendant l'étendage et l'enlèvement du linge. D'après des expériences faites par le génie militaire, la quantité d'eau évaporée s'élèverait à 4 kilogrammes par kilogramme de houille.

1768. Une disposition très-heureuse de l'étendage a été réalisée par M. Flachat à la blanchisserie de Courelles : cette disposition a pour but d'éviter les pertes de temps et de chaleur. Le système qui porte les barres d'étendage est formé de deux poutres formées de lames disposées en zigzag et articulées à leur extrémité et en leur milieu. Les barres d'étendage aboutissent de chaque côté aux articulations médianes du zigzag. Ces deux poutres sont réunies à chacune de leurs extrémités par une forte traverse. Un levier convenablemeut disposé permet d'ouvrir ou de fermer le zigzag; quand il est ouvert, il occupe toute la largeur du séchoir; quand il est fermé, il n'en occupe que la moitié. Deux systèmes de rails transversaux sont suspendus au plafond du séchoir et se prolongent à l'extérieur par deux systèmes de rails identiques; mais il y a interruption de ces rails au droit des portes du séchoir qui sont au nombre de deux et ferment chacune la moitié de l'avant du séchoir; ces portes s'ouvrent en roulant sur des galets. Le système d'étendage est surmonté de galets fixés aux traverses latérales et qui viennent porter sur un des systèmes de rails transversaux quand le zigzag est fermé. Supposons un de ces systèmes fermé et en place soit à l'intérieur, soit à l'extérieur du séchoir; en faisant mouvoir le levier, le zigzag s'ouvre et des galets portés de distance en distance par le zigzag viennent rouler sur deux rails parallèles à la face du séchoir. Ces rails s'étendent sur toute la longueur du séchoir et sont interrompus seulement au droit des rails transversaux.

Cette disposition permet d'obtenir ce résultat que le séchoir est constamment rempli de linge à sécher. Il y a en effet deux systèmes d'étendage : l'un est dans le séchoir, l'autre à l'extérieur; on s'arrange de façon que la durée de l'enlèvement du linge sec et de l'étendage du linge humide soit précisément celle du séchage. La pratique détermine le nombre de pièces qu'on doit superposer pour obtenir ce résultat. Le linge étant sec à l'intérieur et l'étendage étant terminé à l'extérieur, on ferme le zigzag à l'extérieur qui n'occupe alors que la largeur de l'issue des portes du séchoir, on ouvre l'autre porte et on ferme le zigzag de l'intérieur qu'on n'a plus qu'à

faire rouler sur les rails transversaux pour l'amener au dehors ; cela fait, on ferme la porte ouverte, on ouvre l'autre et on fait rouler sur ses rails le système d'étendage qui porte le linge humide pour l'introduire dans le séchoir ; on ouvre ensuite le zigzag et on ferme le séchoir. Cette manœuvre prend à peine quelques minutes.

1769. Il est important que la température intérieure d'un séchoir à linge ne dépasse pas 80°. Au delà, le linge a une tendance à jaunir, c'est qu'en effet, quelque parfait que soit le rinçage, la fibre du linge a toujours retenu dans son intérieur une petite quantité de matière organique qui s'altère et se détruit au delà de 80°.

1770. La blanchisserie de Courcelles possède un séchoir Bouillor et Muller, et un séchoir Flachat. Le premier comprend sept compartiments dont le volume est pour chacun de $7^{mc},055$; on charge dans chaque compartiment la quantité de linge correspondante à 51 kilogrammes de linge sec, la durée du séchage est en moyenne de 55 minutes ; la quantité d'eau évaporée est de $59^{k},400$ par heure, et on brûle dans le même temps $64^{k},150$ de coke sec. La quantité d'eau évaporée par kilogramme de coke brûlé est donc de $0^{k},92$. Le séchoir à développement a une capacité de $36^{mc},478$. La charge correspond à 70 kilogrammes de linge sec ; la durée de l'opération est de 30′ ; on évapore 110 kilogrammes d'eau par heure en brûlant $49^{k},200$ de coke sec dans le même temps, ce qui répond à $2^{k},25$ d'eau évaporée par kilogramme de coke brûlé.

CHAPITRE VIII

Dessiccation du bois et de la tourbe.

1771. Les bois de chauffage, dans l'état où ils sont employés, renferment toujours de 0,30 à 0,40 d'eau, dont la vaporisation exige une quantité notable de chaleur. Il est donc important de les dessécher avant de les employer, quand cette dessiccation peut s'effectuer sans frais ou avec peu de dépense. Pour nous rendre compte de l'avantage qui résulte de l'emploi des bois secs, rappelons-nous que la puissance calorifique du bois sec est de 4000^{c} (65) ; celle du bois à 0,35 d'eau est seulement de 2850 ; et comme la vaporisation de $0^{k},35$ d'eau n'exige que 224 calories, l'économie résultant de l'emploi du bois sec serait de 224 : 2850, à peu près de 0,07. Mais il est très-probable qu'il y a en réalité une plus grande économie, résultant de ce

que les bois secs brûlent plus facilement et laissent dégager moins de fumée et de gaz combustibles. Toutefois, si, pour sécher les bois, il fallait en brûler une partie pour produire la chaleur nécessaire à la vaporisation de l'eau, comme il faudrait dépenser plus de chaleur que n'en exigerait rigoureusement la vaporisation de l'eau hygrométrique du bois, il n'y aurait aucun avantage à effectuer cette dessiccation, et, sans aucun doute, il y aurait accroissement de dépense.

Tout ce que nous venons de dire est exactement applicable aux tourbes.

1772. Mais quand les foyers doivent produire une température très-élevée, la présence de l'eau hygrométrique dans le combustible, en abaissant la température du foyer, présente un inconvénient beaucoup plus grave ; il peut arriver qu'une certaine proportion d'eau hygrométrique empêche d'obtenir la température nécessaire à l'opération. Nous avons vu que, pour le bois sec brûlé sans dégagement d'oxygène libre (302 *bis*), on pouvait produire une température de 1959°, et que le bois à 0,30 d'eau produisait seulement 1675° ; et le calcul montre qu'avec une proportion d'eau de 0,50, la température serait abaissée à peu près à 1342°. Dans le cas dont il s'agit, on conçoit qu'il devient utile et souvent indispensable de sécher le bois, même avec une dépense considérable de combustible.

1773. L'industrie où on s'est le plus anciennement occupé de dessécher le bois pour en obtenir avec quelque régularité de hautes températures est celle de la verrerie et de la cristallerie où l'on travaillait à pots découverts. La dessiccation était opérée par un courant d'air brûlé, provenant d'un foyer qui parcourait l'enceinte où le bois était rangé. Mais l'inconvénient que présente cette disposition provient de la facilité avec laquelle le bois peut être enflammé dès que la dessiccation est un peu avancée. Cet accident arrivait plus ou moins fréquemment ; l'extinction était difficile, et il en résultait toujours une très-grande perte de bois et de temps. Le perfectionnement, qui a été mis en œuvre à la cristallerie de Baccarat, consiste à ranger le bois à dessécher sur des wagonnets en fer dont on forme un train parcourant un petit chemin de fer, posé sur le fond d'une longue galerie, que doit traverser la fumée d'un foyer établi à l'une des extrémités de celle-ci. La fumée circule en sens inverse des wagonnets que l'on retire les uns après les autres, quand on juge que la dessiccation est suffisante. Un wagonnet sorti est remplacé par un wagonnet de bois frais. Il y a donc continuité dans le fonctionnement de l'appareil. Si le feu prend dans le chargement d'un wagon, on

s'en aperçoit à la nature de la fumée qui sort par les ouvreaux du four ; alors on fait sortir le train jusqu'à ce qu'on ait atteint le wagon où le feu s'est déclaré, on le détache et on remet l'opération en marche.

M. Leplay, inspecteur général des mines, a traité la question de la dessiccation des bois dans un mémoire très-remarquable, inséré dans les *Annales des mines* (année 1853). Je rapporterai d'abord les renseignements pratiques renfermés dans ce mémoire.

1774. Dans les forges de Lippitzbach, en Carinthie, on dessèche le bois en brûlant une partie de ce combustible. La figure 409 représente une coupe de l'appareil employé, dans le sens de la lon-

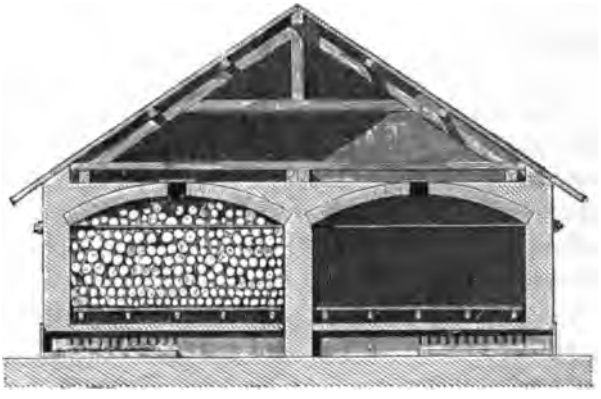


Fig. 409.

gueur du foyer. Chaque séchoir se compose d'une chambre rectangulaire en maçonnerie de $8^m,55$ de longueur sur $5^m,52$ de largeur, terminée à la partie supérieure par une voûte dont le sommet est à $4^m,37$ au-dessus du sol. Cette chambre est divisée en deux étages par un grillage horizontal ; l'étage supérieur, d'une capacité de 130^{mc}, est destiné à recevoir le bois à dessécher ; l'étage inférieur, qui n'a que 60^{mc} de capacité, renferme les foyers et l'espace dans lequel les gaz brûlés sont amenés à une température inférieure à celle qui altérerait le bois. Le grillage formant la séparation des deux étages se compose de poutres engagées par leurs extrémités dans les murailles, et de poutrelles mobiles posées en travers. Le bois est introduit dans le séchoir, en partie par trois orifices pratiqués dans la voûte. Pour faciliter la circulation des gaz chauds au milieu de la masse à sécher, on y réserve plus de vide qu'il n'en existe dans le bois cordé. Le

rapport du plein au vide, qui est de 0,67 environ dans le bois cordé, se trouve réduit à 0,56. Dans l'étage inférieur de la chambre se trouvent deux foyers, composés chacun d'une galerie voûtée de $0^m,47$ de largeur sur $0^m,68$ de hauteur, occupant en longueur la largeur de la chambre. Le combustible, qui se compose en partie de débris, est chargé sur deux rangées de briques, servant de chenets, sur un espace de 2 mètres environ, par une porte en tôle, au-dessous de laquelle arrive constamment un fort courant d'air. La flamme et les gaz se portent d'abord vers l'extrémité postérieure du foyer; de là ils reviennent en avant, et ordinairement les gaz combustibles entraînés sont brûlés, par leur mélange avec l'air, lorsque le mélange est revenu dans la partie contiguë à la porte du foyer. Dans ce trajet, les gaz cèdent d'abord une partie de leur chaleur sensible aux parois du foyer, qui la dispersent par rayonnement; ils se refroidissent encore, en se mêlant avec de l'air affluant directement par les interstices de la porte, avant de déboucher par les nombreux ouvreaux, dans le compartiment inférieur de la chambre. Dans cette région, la température des gaz brûlés est à peu près de 180°. De là, ils s'élèvent à travers le bois, et descendent contre les surfaces intérieures des murs, qui sont nécessairement à une plus basse température que le bois; ils sortent chargés de vapeurs, et s'échappent dans l'air par six orifices ayant ensemble une surface de 14 décimètres carrés, situés au-dessous des ouvreaux du foyer, à une température qui s'élève graduellement de 30° à 90°. La durée d'une opération varie avec l'état hygrométrique du bois et la température extérieure; en été, la durée du feu peut être réduite à deux jours et demi; en hiver, elle peut s'étendre à six jours. Lorsqu'on juge, à l'apparence des gaz, qu'ils ne sont plus chargés de vapeur d'eau, on cesse le chauffage, on ouvre les portes latérales et les orifices pratiqués dans la voûte, et on peut bientôt procéder au déchargement. La consommation varie avec la durée de l'opération; en moyenne, elle est de 0,33 du poids desséché.

1775. Dans l'usine de Neuberg, les gaz provenant du foyer ne passent pas à travers le bois. Le mode de dessiccation est différent. Les bûches ont $0^m,80$ de longueur, et $0^{mq},0015$ à $0^{mq},0020$ de section. Une chambre, toujours en maçonnerie et voûtée, présente une capacité de 63^{mc} d'une forme allongée. A une des extrémités se trouve le foyer; à l'autre, la cheminée. A la sortie du foyer, la flamme circule dans une espèce de poêle en maçonnerie, à minces parois; puis les gaz brûlés se rendent à la cheminée, à travers deux gros

tuyaux de fonte établis à quelques décimètres au-dessus du sol. Le bois à dessécher est introduit dans la chambre par deux portes latérales. La charge, dans chaque opération, est de 48 stères, qui remplissent toute la chambre, sauf un espace de 9^{mc} environ, maintenu vide au-dessus du poêle et des tuyaux. On a soin de maintenir dans le bois plus de vide qu'il ne s'en trouve dans le bois cordé. Pendant l'opération, les portes de chargement sont fermées. L'air dilaté par la chaleur et la vapeur d'eau qui se dégage du bois passent à travers les fissures des portes. La durée du feu varie de 40 à 60 heures. Dans l'origine, on chauffait au bois, et on consommait en moyenne 0,16 de bois sec pour 1 de bois desséché. Depuis, on a employé les escarbilles des forges à houille, qui étaient sans usage.

Malgré toutes les précautions que l'on peut prendre pour empêcher l'élévation de température, le bois est exposé à prendre feu, et les accidents de ce genre sont assez fréquents. L'appareil que nous avons décrit (1774) présente les mêmes dangers d'incendie.

1776. Dans la seconde méthode de séchage, la quantité de chaleur employée n'est que la moitié de celle qui est consommée dans la première. M. Leplay s'est assuré que cette différence ne provient pas d'une inégalité dans l'état hygrométrique du bois; d'ailleurs la même différence dans les dépenses de séchage par les deux méthodes se retrouve dans d'autres contrées. M. Leplay est alors conduit à attribuer aux méthodes elles-mêmes la différence de consommation constatée par l'expérience, et il l'explique de la manière suivante.

1777. La température du bois ne peut pas dépasser 170°, car à cette température le bois s'enflammerait. Dans le premier mode de séchage, pour abaisser à ce point la température des gaz sortant du foyer, on emploie trois moyens différents : 1° on brûle dans le foyer des copeaux qui contiennent souvent au delà de 0,50 d'eau ; 2° on admet dans le foyer un grand excès d'air ; 3° on fait séjourner les gaz dans l'espace vide qui forme le compartiment inférieur, où ils se refroidissent, circonstances qui occasionnent toutes une certaine perte de chaleur. D'après une expérience faite par M. Leplay, dans un beau jour du mois d'octobre, le combustible brûlé dans le foyer renfermait 0,40 d'eau ; la température des gaz brûlés était de 500 à leur sortie du foyer, de 200° à leur entrée dans la masse ligneuse ; et, à la fin de l'opération, la température du bois et de l'enceinte était de 150°. La combustion de 1 kilogramme de ligneux dans le foyer

produit 4000 calories; 1000 seulement sont employées à vaporiser l'eau et à échauffer le combustible; les 3000 autres sont perdues par les différentes causes que nous avons énoncées, et par la sortie de l'air à une température moyenne de 80°.

1778. Dans le second mode d'opération, les circonstances sont très-différentes. Au commencement de l'opération, on pousse le feu, mais avec ménagement, afin que le bois ne brûle pas par le contact de l'air chauffé par les tuyaux; l'air qui se trouvait dans la chambre est successivement expulsé par les vapeurs qui se produisent; la température du mélange d'air et de vapeurs va en croissant; et, comme le mélange est saturé, tout l'air est expulsé quand la température de la vapeur à sa sortie est de 100°. Lorsque le bois a atteint cette température, on modère le feu, et vers la fin de l'opération on cesse de chauffer, quand la température du bois est portée à 170° vers le centre, et à 140° au contact des murs. Dans ce dernier mode de séchage, la moitié de la chaleur précédente est employée à vaporiser l'eau hygrométrique, à échauffer le bois sec, et l'autre moitié est perdue par la cheminée du foyer, ou absorbée par les murailles.

1779. M. Leplay indique une disposition qui serait plus avantageuse que les précédentes. L'appareil se composerait d'une grande chambre divisée en quatre parties égales, formant quatre séchoirs adossés, pourvus chacun d'un foyer et d'un système de tuyaux dans lesquels circulerait l'air brûlé, et d'un autre système de tuyaux destinés à condenser la vapeur déjà produite dans la chambre précédente. Supposons le régime du système établi, et qu'on chauffe le foyer de la chambre que nous désignerons sous le n° 1, les autres étant éteints; le bois qui s'y trouve est déjà en partie desséché, et la dessiccation s'achève comme dans le second mode de séchage que nous venons de décrire. Pendant cette période, la vapeur d'eau produite se rend dans la chambre n° 2, contiguë, où elle se condense en partie, en cédant sa chaleur latente au bois qui s'y trouve; et cette chambre reçoit en même temps les gaz brûlés du foyer de la chambre n° 1. Sous cette double influence, le bois de la chambre n° 2 subit un commencement de dessiccation. Lorsque le bois de la chambre n° 1 est complétement sec, on ferme la communication des chambres n° 1 et n° 2, on éteint le foyer n° 1, et on allume le foyer n° 2. Durant la première période, la chambre n° 3 reçoit une charge de bois; et vers la fin, quand la charge est complète, on admet déjà la vapeur qui ne se condense plus dans la chambre n° 2. Enfin la chambre n° 4, au début de la première période, contient une charge de ligneux récemment

fabriqué. On peut utiliser une partie de la chaleur renfermée dans le combustible desséché de la chambre n° 1, en alimentant le foyer n° 2 par de l'air qui a passé à travers la chambre n° 1. Pendant la deuxième période, la dessiccation du bois partiellement desséché s'exécute dans la chambre n° 2, comme elle s'est opérée pendant la première période dans la chambre n° 1 ; puis on pratique respectivement dans les chambres n°s 3, 4 et 1, les manipulations qui ont eu lieu précédemment dans les chambres n°s 2, 3 et 4. Dans la troisième période, le foyer n° 3 est allumé, et la conversion du bois en ligneux a lieu dans la chambre n° 3. Le travail continue ainsi de proche en proche, et dans le même sens, jusqu'à ce que, dans la cinquième période, les choses se passent comme dans la première. M. Leplay estime que, dans un appareil ainsi disposé, 10 parties de bois seraient séchées par la combustion de 1 partie du même combustible ; mais par cette disposition on n'évite pas les inconvénients qui résultent de l'intermittence des opérations, du refroidissement des enceintes où le ligneux est préparé, et de la main-d'œuvre qu'exigent le chargement et la reprise du bois sec.

1780. M. Leplay a proposé une nouvelle disposition des chambres de dessiccation, dont nous allons donner une idée sommaire. L'appareil se compose d'une galerie voûtée, dont le sol est garni d'un chemin de fer un peu incliné, sur lequel peuvent rouler par leur propre poids des wagons chargés de bois à dessécher ; la galerie est divisée, par des registres verticaux, en quatre sections contiguës, dans lesquelles les wagons séjournent un temps plus ou moins long. Le premier compartiment, celui d'entrée, qui se trouve au point le plus élevé du chemin de fer, contient des wagons chargés de bois humide ; il est chauffé au moyen des gaz et de la vapeur d'eau qui ont traversé les compartiments précédents. Le second compartiment contient du bois qui s'échauffe graduellement jusqu'à 100°, et perd environ la moitié de l'eau hygrométrique par l'influence de trois sources de chaleur : par le contact des gaz brûlés, qui ont produit leur principal effet dans la troisième section ; par le contact de l'air qui s'est échauffé dans la quatrième section, en refroidissant le ligneux fabriqué ; enfin par la chaleur latente de la vapeur d'eau formée dans la troisième section, qui cède cette chaleur en se condensant dans des tuyaux échauffant eux-mêmes l'air situé au niveau du sol de la galerie. La dessiccation du bois s'achève dans la troisième section par la chaleur d'un foyer spécial, transmise à travers des tuyaux de fonte ou de tôle. Les gaz de ce foyer, après avoir cir-

culé dans le troisième compartiment, dans des tuyaux, débouchent dans la deuxième section de la galerie, où ils sont en contact avec le bois. La vapeur surchauffée, développée dans la troisième section, traverse la deuxième dans des tuyaux fermés. La quatrième section est celle du refroidissement du bois desséché ; le refroidissement du ligneux y est produit par de l'air froid circulant autour de l'enveloppe en tôle mince qui forme cette partie de la galerie. Dans ce système, la chaleur du ligneux se transmet à l'air contenu dans l'enceinte, à la tôle, puis à l'air extérieur. Ce dernier s'échauffe progressivement, en circulant en spirale, depuis l'extrémité de la galerie jusqu'à la porte placée entre la quatrième et la troisième section; il se rend ensuite par un conduit spécial dans la deuxième section, où il concourt à la dessiccation préalable du combustible. En résumé, le bois introduit froid et humide, par une des extrémités de la galerie, en sort à l'extrémité opposée converti en ligneux, à une température peu supérieure à celle de l'atmosphère; les agents de la dessiccation et du refroidissement, savoir, la chaleur du foyer et l'air froid, parcourent la galerie dans une direction opposée à celle des wagons. Admis aux extrémités de la troisième et de la quatrième section, tous les gaz plus ou moins refroidis sortent ensemble à l'extrémité de la galerie, où l'on peut supposer qu'ils sont appelés par un ventilateur. Quant à l'eau hygrométrique admise dans la galerie avec le bois lui-même, elle en sort sous deux états différents : la partie vaporisée, dans la première et la deuxième section, reste en dissolution dans le mélange d'air et de gaz qui a produit la dessiccation; la partie vaporisée dans la troisième section se condense dans les tuyaux des deux sections précédentes, et forme une source d'eau distillée à 100°, qu'on peut utiliser à l'alimentation des chaudières à vapeur. La galerie est fermée à ses extrémités, et subdivisée aux trois points de jonction des sections par des portes mobiles, au moyen desquelles on interrompt ou on établit à volonté, soit la communication des sections extrêmes avec l'atmosphère, soit la communication des sections contiguës.

1781. Les dimensions des différentes parties de l'appareil, et les détails de construction, ne peuvent être déterminés qu'à la suite d'essais, ainsi que la quantité de chaleur consommée. M. Leplay a cependant étudié les dispositions de la galerie et calculé l'effet utile produit, en supposant d'abord qu'on emploie un foyer spécial, et en admettant qu'on emploie la chaleur perdue des générateurs.

1782. M. Leplay examine ensuite le cas où il serait important de

recueillir les eaux provenant de la condensation des vapeurs pour l'alimentation des générateurs. Il faudrait alors dessécher en vase clos; la construction et le service de la galerie se trouveraient simplifiés. Les gaz du foyer, ou ceux qui s'échappent des générateurs, circuleraient exclusivement autour des parois en tôle de la galerie, depuis l'extrémité de la section n° 3 jusqu'à l'extrémité opposée de a section n° 1. L'eau hygrométrique vaporisée dans la troisième section circulerait dans des tuyaux placés près du sol des sections n° 2 et n° 1; celle qui serait produite dans la deuxième section pénétrerait dans les premiers tuyaux traversant la section n° 1. La portion de vapeur qui ne serait pas condensée échaufferait au moyen de serpentins, en dehors de la galerie, de l'eau contenue dans des bâches. M. Leplay a donné un aperçu de la distribution probable de la chaleur dans cette disposition.

1783. Les renseignements que je viens de donner permettent d'apprécier les effets que peuvent produire les différents modes de dessiccation, et les dispositions proposées par M. Leplay. Je m'occuperai d'abord des séchoirs chauffés par un foyer spécial. D'abord il convient de rejeter le séchage par un courant d'air préalablement chauffé dans un calorifère, parce que la température du mélange d'air et de vapeur serait trop peu élevée pour produire un grand effet utile.

1784. Le chauffage direct par la combustion n'est praticable qu'en introduisant dans le foyer ou dans les gaz qui s'en dégagent un grand excès d'air, de manière que la température du mélange n'atteigne pas 200°; mais on se trouve alors dans le cas du séchage par de l'air préalablement échauffé dans un calorifère. On augmenterait beaucoup la température du mélange d'air et de vapeurs à la sortie, si on refroidissait les gaz qui sortent du foyer, en les faisant circuler dans des tuyaux de fonte ou de terre cuite, placés au-dessous du bois, avant de les abandonner à la partie supérieure de la chambre.

1785. Le meilleur de tous les systèmes de séchage est évidemment celui qui a lieu en vase clos, parce qu'alors on ne perd réellement que la chaleur employée à la vaporisation et à l'échauffement du bois, celle qui passe à travers les murailles du séchoir, et celle qui reste dans la fumée du calorifère, quand elle pénètre dans la cheminée. La première perte est inévitable; la seconde l'est également, mais elle est très-petite relativement à la première, et seulement dans le rapport de 40 à 320; la troisième peut être diminuée en

donnant aux murailles une grande épaisseur; enfin la dernière peut être réduite à moins de 0,1 de la chaleur produite, en abandonnant la fumée à une température peu supérieure à 100°.

1786. Quant aux dispositions proposées par M. Leplay, la dernière est un peu compliquée; elle exigerait de grands frais d'établissement, et ne sera que difficilement adoptée par l'industrie. La première est dans le même cas, à cause surtout de la multitude des tuyaux formant les calorifères à air chaud et à vapeur.

1787. A mon avis, la disposition la plus simple et la plus économique consisterait en deux galeries parallèles un peu allongées, A et A', ayant chacune à la partie inférieure un foyer F, F', et des tuyaux horizontaux placés au-dessous du sol, que la fumée parcourrait simultanément ou successivement, mais de manière à répartir la chaleur le plus uniformément possible sur le fond des galeries. Chacune des galeries serait fermée aux deux extrémités par des portes doubles en tôle, et renfermerait au niveau du sol, et prolongés en dehors, deux rails qui porteraient des wagons en fer sur lesquels le bois serait placé de manière à remplir la plus grande partie de la galerie. Les fumées des deux foyers se rendraient dans une cheminée commune d'une grande section et garnie à son sommet d'un registre destiné à régler le tirage. Les murailles voisines des deux galeries formeraient un espace fermé; au milieu se trouverait la cheminée qui communiquerait par le bas avec chacune des galeries au moyen d'orifices garnis de registres, de chaque côté de la cheminée, à la partie inférieure seraient placés les foyers F,F'; au-dessus de la voûte des foyers, chacun des espaces communiquerait avec une des galeries par des ouvertures munies de registres, et avec l'air par la partie inférieure; enfin, dans les espaces dont je viens de parler, se trouveraient des tuyaux de condensation de la vapeur pouvant communiquer avec les galeries, et ouverts par le bas à l'extérieur. Voici de quelle manière on opérerait avec cet appareil. Les deux galeries étant occupées par des wagons chargés de bois vert, on allumerait le foyer F, et on ouvrirait les registres d'un côté. Dans la première galerie la dessiccation aurait lieu par la chaleur seule, et dans la seconde il y aurait un commencement de dessiccation par un courant d'air chaud, dirigé de haut en bas à une température qui s'élèverait constamment. Lorsque le bois de la galerie A serait sec, on éteindrait le foyer F, on allumerait le foyer F', on fermerait les registres d'un côté et on ouvrirait les registres de l'autre; alors on enlèverait rapidement les wagons de bois sec pour les remplacer

par des wagons de bois vert; les choses resteraient en cet état jusqu'à la dessiccation complète du bois de A'; après quoi on ferait sur A' la même manœuvre que sur A.

Par cette disposition on utiliserait une grande partie de la chaleur de la vapeur, la manœuvre serait très-simple et les frais d'établissement peu considérables. A la vérité on n'utiliserait pas la chaleur du bois desséché, mais cette perte serait peu considérable; pour l'éviter il faudrait trop compliquer l'appareil; d'ailleurs on ne peut utiliser la chaleur du bois qu'en le faisant traverser par un courant d'air qui refroidit en même temps les murs de l'enceinte, et il est douteux qu'il en résulte un grand avantage; tandis que, dans la disposition dont je viens de parler, si les changements de wagons s'effectuent rapidement, les enceintes des deux galeries ne se refroidiront pas sensiblement.

1788. Avec les procédés de dessiccation que nous avons décrits (1774, 1775) le bois le plus sec se trouve soumis à la température la plus élevée, ce qui occasionne assez souvent l'inflammation des portions déjà desséchées, inflammation qui risque de se communiquer à toute sa masse: aussi ces procédés ne permettent-ils pas d'effectuer une dessiccation complète; ils présentent aussi l'inconvénient d'exiger des appareils d'une très-grande dimension, des installations très-coûteuses et même presque impossibles pratiquement pour le menu bois qui occupe bien plus d'espace à poids égal que celui qui est coupé en bûches d'un gros diamètre; enfin ils ne peuvent pas s'appliquer au bois coupé en morceaux de $0^m,25$ à $0^m,30$, longueur qu'il ne peut pas dépasser lorsqu'il doit être employé pour les hauts fourneaux par exemple, ou bien pour les gazogènes ou générateurs de gaz, et ce n'est pas sans quelque difficulté que l'on coupe le bois desséché, la dessiccation le durcissant beaucoup.

MM. Thomas et Laurens ont proposé et réalisé une méthode basée sur des principes différents et qui convient pour tous les bois, mais surtout pour le traitement de celui destiné à être brûlé en bûchettes de petite longueur. Elle consiste dans l'installation de chambres ou fours en maçonnerie épaisse, fonctionnant tour à tour méthodiquement comme nous allons le dire, et que l'on remplit simplement avec le bois vert après en avoir échauffé les parois intérieures jusqu'au rouge sombre. Supposons quatre chambres étroites et longues A, B, C et D garnies de registres disposés de telle façon que chacune d'elles puisse recevoir la flamme d'un foyer spécial ou bien la fumée très-chaude d'un foyer dont on voudrait utiliser la chaleur perdue, et

que cette flamme ou fumée se rende ensuite dans deux des autres pour commencer à les échauffer en finissant de se refroidir elle-même. Supposons la première, A, déjà portée au rouge sombre ; on arrête l'introduction de la chaleur dans son intérieur ; on l'isole des autres après l'avoir remplie de bûchettes à l'aide d'ouvertures supérieures, et on ferme toutes les issues, sauf quelques orifices nécessaires pour le dégagement de la vapeur : en même temps on introduit la flamme ou la fumée directement dans la chambre B d'où elle passe dans celles C et D. Au bout de peu de temps, quelques heures seulement, le bois remplissant la chambre A sera déjà sec, on l'en retirera par le bas; la chambre B aura atteint au même moment la température voulue, on l'isolera à son tour et on y mettra le bois vert : ensuite on établira la communication de la chambre A avec celle D de manière à ce qu'elle commence à s'échauffer à l'aide de la fumée sortant de cette dernière, et ainsi de suite. Les produits de la combustion du foyer spécial ou bien la fumée venant d'un autre foyer, se trouveront ainsi refroidis d'une manière méthodique, en parcourant successivement des fours ou chambres de moins en moins chauds, et leur chaleur, qu'ils auront transmise directement aux parois de ces chambres, sera rendue en entier par rayonnement au bois à dessécher dont on remplit successivement chacune d'elles lorsqu'elle a atteint la température voulue.

L'on voit que, contrairement à ce qui se passe dans les deux méthodes habituelles, le bois est d'abord soumis à la température la plus élevée, et que la température du four diminue à mesure que la dessiccation avance; malgré cette condition qui semblerait éloigner toute chance d'inflammation, et aussi malgré l'absence de courants d'air, le feu se manifeste encore quelquefois à la partie supérieure, lorsqu'on cherche à arriver au maximum de dessiccation; mais ici elle est facile à arrêter, soit en bouchant bien toutes les issues, soit de préférence en ajoutant un peu de bois nouveau dans l'espace vide résultant, à la partie supérieure de la chambre, de la diminution de volume produite par la dessiccation elle-même.

Dans des chambres ou fours de $0^m,80$ de largeur, $1^m,10$ de hauteur, sur 4 mètres de longueur et chauffés au rouge sombre, du menu bois vert de $0^m,01$ à $0^m,03$ de diamètre en bûchettes de $0^m,22$ à $0^m,27$ de longueur perd en 2 heures $\frac{1}{4}$ de 25 à 30 pour 100 de son eau, en subissant une réduction de volume de 18 à 20 pour 100 : ce temps de 2 heures à 2 heures $\frac{1}{2}$ que dure la dessiccation dans ces

conditions est celui qui est utile pour réchauffer la chambre suivante ; du moins on doit s'arranger pour qu'il en soit ainsi, de telle sorte que les opérations se succèdent d'une manière continue. Comme elles sont très-courtes, les chambres peuvent être petites et l'appareil complet coûte peu d'installation et n'exige pas à beaucoup près autant d'espace que les appareils précédents, pour la dessiccation d'une même quantité de bois.

MM. Laurens et Thomas ont appliqué ce procédé pour fournir du bois desséché à un haut fourneau de Normandie, où l'on fabriquait des moulages en première fusion. Mais ce fourneau a été éteint à la suite du traité de commerce de 1860. Le bois devait être desséché à peu près au fur et à mesure de son emploi ; l'opération n'est praticable que lorsque le transport du bois vert aux usines n'est pas trop coûteux. On peut alors l'exécuter au moyen des chaleurs perdues, ou du gaz des gueulards. Dans d'autres circonstances, on devra brûler du combustible qui ne représentera d'ailleurs qu'une fraction peu importante du bois à dessécher.

1789. MM. Geneste fils et Herscher frères ont employé, pour la dessiccation du bois des allumettes, un séchoir à air chaud alimenté par les produits de la combustion. Leur appareil se compose d'abord d'un foyer en briques disposé de façon à obtenir la meilleure utilisation possible du combustible ; le gaz de la combustion arrivant dans un tuyau dans lequel le tirage se produit au moyen d'un jet d'air comprimé agissant par entraînement. En arrière de ce jet, se trouve placé, sur le tuyau même, un orifice permettant l'introduction d'une quantité plus ou moins grande d'air extérieur, de telle façon que la température des gaz mélangés soit de 120°. Ces gaz sont envoyés à la partie supérieure d'une armoire close, munie de tablettes à claire-voie, sur lesquelles les bois d'allumettes taillés et blutés sont soumis à l'action du séchage ; un mouvement mécanique est disposé de telle façon que les tablettes se substituent les unes aux autres de bas en haut, de sorte que la chaleur des gaz est utilisée méthodiquement ; cette disposition est très-économique au point de vue de l'utilisation du combustible ; elle nécessite, il est vrai, l'emploi d'une petite force motrice nécessaire pour obtenir le jet d'air comprimé ; mais cette dépense est insignifiante et se trouve compensée et bien au delà par la bonne utilisation de la chaleur et la suppression des surfaces de chauffe dans le séchoir.

Dessiccation de la tourbe.

1790. Tout ce que nous avons dit, sur l'importance de la dessiccation des bois de chauffage, s'applique à plus forte raison à la tourbe, qui peut renfermer des quantités d'eau plus considérables encore. On trouve dans une notice de M. Delesse, alors élève ingénieur des mines, publiée en 1842 dans les *Annales des mines*, les renseignements suivants relatifs à l'emploi de la tourbe dans la métallurgie du fer, et à la construction de fours pour la dessiccation de la tourbe. A l'usine de Kœnigsbronn dans le Wurtemberg, les fours sont chauffés directement par l'air brûlé d'un foyer alimenté par des menus de tourbe ; l'air brûlé, mêlé à beaucoup d'air non altéré, s'écoule d'abord par un canal horizontal en briques, situé au-dessous du four de dessiccation, et débouche dans une chambre latérale étroite, d'où les gaz brûlés passent dans le four par un grand nombre d'orifices percés dans le mur de séparation ; les gaz et les vapeurs s'écoulent par une cheminée ; la température de la chambre varie de 36 à 40° ; on consomme 0,33 du combustible desséché. Dans d'autres appareils, la chaleur est fournie par un foyer spécial, dont l'air brûlé circule dans des tuyaux de fonte placés à la partie inférieure du four, et par de l'air extérieur qui s'échauffe contre ces tuyaux ; l'air pur et l'air brûlé traversent la tourbe, et les gaz et les vapeurs s'échappent par une cheminée placée à la partie supérieure ; on chauffe aussi l'air envoyé dans le séchoir avec la chaleur perdue des fours à réchauffer. Tous ces appareils laissent à désirer : l'opération est très-lente, et la consommation de combustible trop considérable.

1791. La meilleure disposition des fours à dessécher la tourbe serait, à mon avis, celle que j'ai indiquée pour le bois ; seulement, comme la dessiccation de certaines tourbes compactes doit être plus lente que celle du bois en morceaux de $0^{mq},15$ à $0^{mq},20$ de section. et que la tourbe s'enflamme facilement, il faudrait modérer l'activité des foyers.

CHAPITRE IX

Dessiccation des légumes.

1792. La conservation des légumes de toute nature, par une dessiccation complète, a pris dans ces dernières années un grand dé-

veloppement. La dessiccation a toujours lieu dans des séchoirs par un courant d'air chaud; mais comme il est nécessaire que l'opération s'effectue promptement, il faut que l'air chaud se renouvelle avec rapidité sur les surfaces des corps à dessécher.

1793. En 1845, M. Bresson a présenté à la Société d'encouragement une disposition particulière de séchoir, qu'il destinait à la dessiccation de la betterave, des autres matières végétales ou des matières quelconques en poudre ou adhérentes. Cet appareil est représenté dans la figure 410 en coupe verticale. Il est composé d'une enceinte en maçonnerie, fermée à la partie supérieure par une voûte en plein cintre, dont l'arête supérieure est à une distance du sol qui

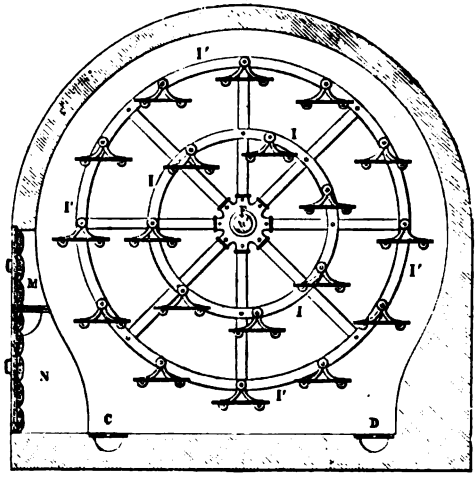


Fig. 410.

est à peu près égale au diamètre de la voûte, et dont les murs latéraux sont rentrés de manière à former une surface à peu près cylindrique circulaire. C est le canal d'entrée de l'air chaud ; D, le canal de sortie de l'air humide. Ces caniveaux sont recouverts de plaques de fonte percées de trous dont les diamètres augmentent à mesure qu'ils s'éloignent de l'entrée ou de la sortie. Au centre de l'appareil se trouve un arbre en fer F, mobile dans des coussinets ; sur cet arbre est calé un tourteau portant huit bras sur lesquels sont fixés les cercles I, I'. Ces cercles sont traversés par des tiges cylindriques supportant des paniers, qui dans le mouvement de rotation de l'arbre F conservent toujours la position horizontale. M et N forment deux portes : celle qui se trouve à la partie supérieure sert à garnir les

paniers de matières humides et à enlever celles qui sont sèches ; celle d'en bas, à entrer dans le séchoir. Quand les matières sont adhérentes, M. Bresson remplace les paniers par des cylindres en toile métallique fixés sur leur support, de sorte que les matières qui y sont renfermées sont retournées par la rotation de l'appareil. Cet appareil remplit très-bien la condition de renouveler l'air qui touche les surfaces des corps à dessécher, mais les paniers ou les cylindres les plus voisins de l'axe de rotation sont difficiles à remplir et à vider. Le mouvement de l'air peut être produit par la colonne d'air chaud du calorifère, par une cheminée d'appel, ou par une action mécanique. Il résulte évidemment de ce que nous avons dit au commencement de ce chapitre que, pour utiliser le mieux possible la chaleur, il faut que l'air sorte saturé ; et pour qu'il en soit ainsi, il faut que l'air humide s'écoule à une température déterminée par celle de l'air chaud à son entrée dans le séchoir.

1794. M. Mége, fabricant de conserves alimentaires, a disposé l'appareil d'une manière plus commode : les paniers sont au nombre de six, disposés dans une seule rangée autour de l'axe. Chaque panier porte 11 châssis rectangulaires, sur lesquels sont placées les matières à dessécher; le service se fait ainsi facilement par la porte.

1795. Les légumes, épluchés et découpés, sont soumis à un commencement de cuisson par leur immersion dans un vase en cuivre étamé plein d'eau, chauffé par un serpentin placé à la partie inférieure, percé d'un grand nombre de petits trous et parcouru par de la vapeur à haute pression ; les légumes sont placés dans un panier à claire-voie qui repose sur le serpentin, et éprouvent par l'écoulement de la vapeur un mouvement de tourbillonnement très-rapide qui paraît favorable à l'opération ; la cuisson est terminée dans un espace de temps qui varie de 1 à 4 minutes suivant la nature des matières.

Les légumes sont ensuite portés dans le séchoir, dans lequel arrive l'air, poussé par un ventilateur et chauffé dans un calorifère. La température du séchoir est maintenue à 60°.

1796. On arriverait au même résultat en donnant à l'appareil une autre disposition, qui occuperait moins de place. Le séchoir se composerait d'une caisse rectangulaire, renfermant deux rangées de tiroirs dont les fonds seraient en toile métallique, et ne seraient séparés les uns des autres que par un petit intervalle. A chaque bout de l'espace occupé par les tiroirs se trouverait un espace libre, d'une petite largeur, régnant sur toute la hauteur et la profondeur du sé-

choir, et pouvant à volonté communiquer avec le calorifère. Les tiroirs étant remplis de matières à sécher, l'air chaud, arrivant d'un côté, parcourrait successivement tous les tiroirs; lorsque la moitié des matières serait desséchée, on arrêterait l'écoulement de l'air chaud, on remplacerait les matières desséchées par d'autres sortant de la cuisson, et on ferait mouvoir l'air en sens contraire.

Quel que soit le procédé employé pour la dessiccation des légumes, ils perdent la plus grande partie de leur saveur. On comprend cependant l'utilité de cette opération qui permet de les conserver indéfiniment et de les emmagasiner sous un faible volume.

CHAPITRE X

Torréfaction du tabac à fumer.

1797. Le tabac à fumer, en sortant des machines dans lesquelles il a été haché, doit éprouver une première dessiccation à une température voisine de 150°; il est ensuite porté dans des séchoirs, où se complète sa dessiccation. On a employé en France deux espèces d'appareils de torréfaction : ceux qui sont chauffés par la vapeur, et ceux dans lesquels les plaques sont chauffées directement par un foyer. Nous décrirons ces appareils avec détail, parce qu'ils sont applicables à d'autres usages, et parce qu'ils renferment des dispositions qui peuvent être utiles dans un grand nombre de cas.

1798. Les premiers fours de torréfaction à feu nu, que l'Administration des tabacs de France a fait exécuter, se composaient de plaques de fonte ou de tôle, placées à la suite les unes des autres, reposant sur deux murs de briques; le foyer était à une des extrémités; la fumée parcourait toute la longueur des plaques, et se rendait ensuite dans la cheminée. Mais, par cette disposition, la température des plaques était très-irrégulière, l'opération exigeait beaucoup de soin de la part des ouvriers, et on perdait beaucoup de chaleur.

1799. M. Rudler, ingénieur de la manufacture des tabacs de Paris, a fait construire des fours qui n'offrent aucun de ces inconvénients, et qui servent en même temps à brûler les côtes de tabac, dont on ne fait aucun usage et qu'on doit détruire, afin qu'elles ne deviennent pas un élément de fraude. Cette dernière condition était difficile à remplir, du moins en brûlant complétement la fumée, parce que les côtes de tabac, renfermant beaucoup d'eau et de sels,

s'enflamment difficilement; mais la combustion de la fumée doit absolument être complète; car, lorsqu'elle ne l'est pas, il en résulte dans le voisinage une odeur insupportable.

La figure 411 représente une coupe longitudinale suivant la ligne OP du four dont il s'agit; la figure 412, une coupe horizontale, et la figure 413, une coupe verticale suivant la ligne M. — *a*, foyer à houille; *b*, foyer à côtes de tabac; *c*, partie des carneaux où se réunissent les flammes des deux foyers; *d*, *d*, *d*, *d*, carneaux par-

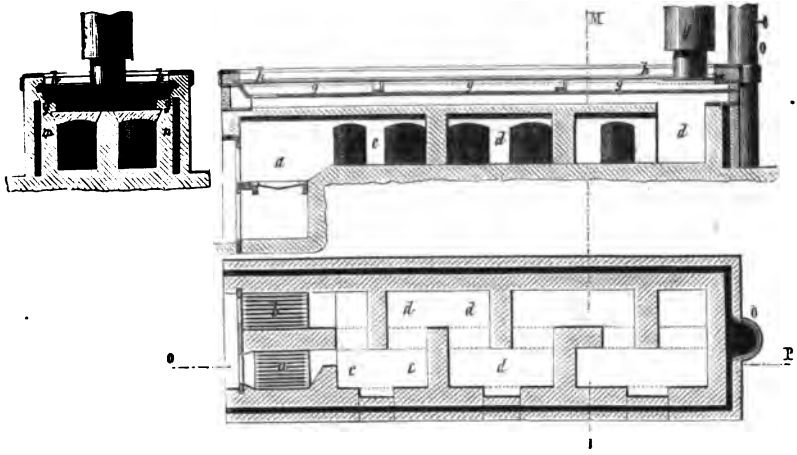


Fig. 411. *Fig.* 412 *et* 413.

courus par l'air brûlé; *g g*, bassin en fonte, composé de trois parties; sur ce bassin est boulonnée une grande plaque de tôle *hh*, sur laquelle se fait la torréfaction du tabac : cette plaque est terminée à un bout par une plaque en fonte sur laquelle est fixée la cheminée *f*. La cheminée est composée de deux cylindres concentriques, dans l'intervalle desquels circule de l'air qui, après s'être échauffé, alimente un séchoir placé à un étage supérieur. Le bassin de fonte *gg* est appuyé sur des murs en briques *m* et *n*, qui renferment un espace vide, dans lequel de l'air s'échauffe et s'écoule par le tube O.

Pour mettre cet appareil en train, on commence par allumer le foyer à houille; lorsqu'il est en pleine activité et que la plaque de torréfaction a atteint 120° à 150°, on commence la combustion des côtes et le travail de la torréfaction. On étale uniformément sur la table à peu près 40 kilogrammes de tabac, que deux ouvriers retournent pendant 20 minutes environ; la dessiccation du tabac se termine ensuite dans les séchoirs. On consomme, terme moyen,

12k,3 de houille pour torréfier 100 kilogrammes de tabac, et 72k,15 pour évaporer 100 kilogrammes d'eau, sans compter la chaleur fournie par la combustion des côtes. Dans l'appareil décrit, on brûle environ 5 kilogrammes de côtes par heure.

1800. Les fours de torréfaction à la vapeur que l'Administration des tabacs de France a fait établir à la manufacture de Paris, avaient d'abord la forme d'un parallélipipède à base rectangulaire. Ces appareils, construits tantôt en fer, tantôt en cuivre, ne pouvaient résister à la faible pression de la vapeur, qui n'excédait pourtant jamais 0m,96 de mercure. L'administration, sur la proposition de Gay-Lussac, décida, en 1834, qu'ils seraient remplacés par d'autres, formés de tuyaux de cuivre, et M. Rudler fut chargé d'en faire les plans et d'en surveiller l'exécution.

1801. Chacun de ces nouveaux appareils (*fig.* 414 et 415) est formé d'un châssis de fonte *nnnn*, horizontal, de 12 mètres de lon-

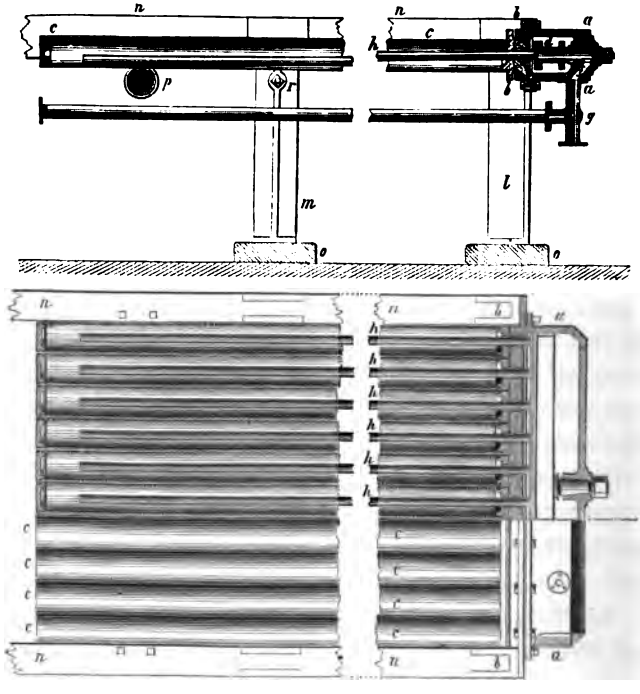


Fig. 414 *et* 415.

gueur, monté sur 6 pieds *l*, *m*..., aussi en fonte; le fond du châssis se compose de deux parties parfaitement symétriques, dont chacune

comprend dix tuyaux de cuivre *c*, *c*..., de 6^{m},22 de longueur et 0^{m},115 de diamètre, fixés par un bout dans une caisse de fonte *aa*, qui termine le châssis, fermés par l'autre extrémité, et soutenus par des rouleaux de fonte cannelés *p*. Les extrémités libres des deux systèmes de tuyaux laissent entre elles un intervalle suffisant pour qu'ils puissent facilement se dilater. Chacune des caisses en fonte renferme une caisse intérieure *d* en cuivre, de même longueur, sur laquelle sont fixés 10 tuyaux *h* de 6 mètres de longueur et de 0^{m},03 de diamètre, qui sont placés dans les gros tuyaux dont nous venons de parler; ils sont destinés à conduire la vapeur jusqu'à l'extrémité des tuyaux de chauffage. Les caisses intérieures communiquent avec le générateur par le tuyau *f* et le robinet *g*. Les eaux de condensation se rassemblent dans les deux boîtes de fonte, d'où elles s'écoulent par un tuyau placé au fond; un petit robinet, établi au-dessus des boîtes, sert à l'écoulement de l'air, au commencement du chauffage. Le tabac à torréfier est placé sur les tuyaux; pour qu'il ne passe pas entre eux (car ils ne sont pas exactement en contact), on a mis dans l'intervalle des bandes de plomb d'une forme triangulaire. L'appareil condense par heure 45 kilogrammes de vapeur, et torréfie 160 à 180 kilogrammes de tabac.

1802. *Torréfacteur mécanique de M. Rolland.* — Dans la disposition de cet appareil, M. Rolland s'est proposé de produire un effet continu, toujours le même, et de soustraire les ouvriers aux vapeurs qui se dégagent des appareils de torréfaction ordinaires.

Ce torréfacteur se compose d'un cylindre horizontal en tôle, de 0^{m},90 de diamètre, et de 5^{m},50 de longueur, armé à l'intérieur de nervures héliçoïdales de 0^{m},15 de hauteur, garnies de fourches; ce cylindre est chauffé en dessous par un foyer, et tourne uniformémen tsur lui-même. Les matières à torréfier entrent d'une manière continue par une extrémité, et s'écoulent par l'autre. Le mouvement de translation est produit par les nervures héliçoïdales; l'uniformité des effets produits par la chaleur résulte: 1° du mouvement que les matières éprouvent par la rotation, qui les retourne continuellement, de manière à renouveler celles qui sont en contact avec le métal; 2° des fourches, qui s'opposent à ce qu'elles se pelotonnent; 3° de l'uniformité de température maintenue dans le cylindre, au moyen du régulateur dont j'ai parlé. Les plus grandes difficultés se trouvaient dans le distributeur mécanique à l'entrée du cylindre, et dans la conservation de la même température; elles ont été habilement vaincues. A l'époque de l'Exposition universelle, 4 torréfac-

teurs mécaniques fonctionnaient à la manufacture des tabacs de Strasbourg, et torréfiaient à peu près 0,2 de la fabrication totale de la France. L'administration générale a décidé que ces appareils seraient établis dans les manufactures de Paris, de Lyon et de Toulouse. D'après M. Rolland, les nouveaux appareils ont de grands avantages économiques sur les anciens, sous le rapport de la main-d'œuvre et du combustible consommé pour produire le même travail; ils produisent moins de menu; enfin, et c'est certainement l'amélioration la plus importante, ils soustraient les ouvriers aux vapeurs qui se dégagent de la torréfaction. La régularité du service dans cet appareil exige nécessairement une grande régularité dans la température, dans la répartition des matières, et enfin dans la vitesse de rotation. Les deux premières conditions sont satisfaites par la disposition du distributeur, et par le régulateur; quant à la dernière, elle paraît plus difficile à obtenir; et ne pourrait-on pas craindre que, si le moteur venait à s'arrêter, les matières renfermées dans le cylindre ne fussent grillées? L'appareil de M. Rolland est très-compliqué, surtout à cause de la matière sur laquelle on opère; et comme il est destiné à une industrie dont le gouvernement s'est réservé le monopole, j'ai pensé qu'il était inutile d'en donner un dessin et une description plus détaillée.

1803. La machine deviendrait beaucoup plus simple, si elle était appliquée à une matière en grains égaux, comme le café et le cacao. Une simple trémie, placée à une extrémité, verserait constamment dans le cylindre a matière, qui s'écoulerait à l'autre extrémité, uniformément torréfiée, si la vitesse de rotation était convenable, et la température constante. MM. Bellanger et Arson, ingénieurs distingués, ont employé depuis plusieurs années cette méthode à la fabrication du plâtre avec le menu des mines. J'en parlerai dans le livre consacré au chauffage des corps solides.

CHAPITRE XI

Séchage des étoffes par rayonnement.

1804. Dans les fabriques de toiles peintes, on se sert de la chaleur rayonnante pour sécher les étoffes après certaines opérations, principalement après le placage, parce que le séchage doit être prompt, et que les frottements qui se produisent dans les séchoirs

ordinaires nuiraient à la netteté des réserves. On emploie pour cela différentes dispositions. Ordinairement les étoffes sont tendues à la partie supérieure d'une caisse en bois, ayant la longueur de la pièce, et l'on fait mouvoir au-dessous, sur un chemin de fer, un chariot qui porte un brasier (*fig.* 416).

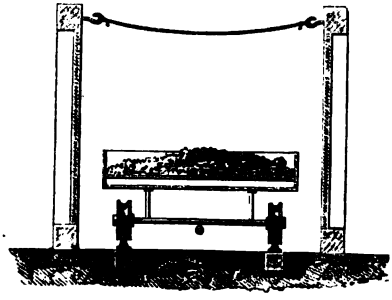


Fig. 416.

On emploie aussi la disposition suivante. Au-dessus d'un foyer est un canal vertical court, qui conduit la fumée dans deux tuyaux de tôle parallèles, un peu inclinés à l'horizon, se réunissant ensuite en un seul, qui s'élève verticalement et sort de l'atelier. Les deux tuyaux sont placés entre deux cloisons en planches, et au-dessus on fait passer les étoffes d'une manière continue. Un appareil, dans lequel les tuyaux ont 33 mètres de longueur et $0^m,33$ de diamètre, consomme en 24 heures 2 stères de bois de hêtre, pour sécher 300 pièces de calicot plaqué.

1805. On peut employer d'une façon analogue la vapeur surchauffée qui peut en vertu de la chaleur de surchauffe déterminer l'évaporation d'une certaine quantité d'eau ; de plus la vitesse avec laquelle elle s'écoule permet de le diriger efficacement sur les matières à sécher, et quoique l'application n'en soit pas économique, la grande simplicité qu'en présente l'emploi l'a fait adopter dans quelques cas et spécialement dans le séchage des tissus apprêtés pour lesquels le séchage par contact ne peut pas être employé. Les applications de ce séchage ont été faites de deux façons : la première consiste à faire passer et repasser le tissu au-dessus de rampes percées de petits trous capillaires disposés de centimètre en centimètre sur la longueur de la rampe ; la vapeur surchauffée qui s'échappe par les petits orifices rencontre le tissu, et si l'appareil est bien disposé, après trois ou quatre passages successifs, le tissu est absolument sec. Dans d'autres cas, on emploie une table creuse, en fonte, dont le dessus est formé d'une tôle perforée à trous très-fins ; cette table a la largeur du tissu et une longueur proportionnée à la difficulté du séchage ; le tissu chemine lentement à quelques centimètres au-dessus de la table, la vapeur qui s'écoule le sèche et il peut être enroulé immédiatement. La seule difficulté que présente l'emploi

de ce procédé consiste surtout à obtenir une surchauffe régulière de la vapeur.

CHAPITRE XII

Séchage des corps par leur application contre des surfaces métalliques chauffées.

1806. Le séchage des étoffes se fait aussi en mettant les étoffes humides en contact immédiat avec des surfaces métalliques chauffées par la vapeur. D'après une expérience citée par Clément, une pièce de calicot, qui pesait 5 kilogrammes, qui renfermait moitié de son poids d'eau, et qui avait 24 mètres de longueur sur $0^m,90$ de largeur, ayant été étendue sur une lame de cuivre de même surface, en contact avec de la vapeur à 100°, a été séchée en 1 minute. La quantité d'eau évaporée par heure a donc été de $2^k,50 \times 60 = 150$ kilogrammes, pour une surface de $24^m \times 0,90 = 21^m,60$; ce qui donne, par heure et par mètre carré, $150 : 21,60 = 6^k,94$.

1807. Ce mode d'opération n'est point en usage. On emploie ordinairement des cylindres mobiles dans lesquels on fait arriver la vapeur, et sur lesquels on fait circuler les étoffes.

La figure 417 représente un appareil de ce genre construit par

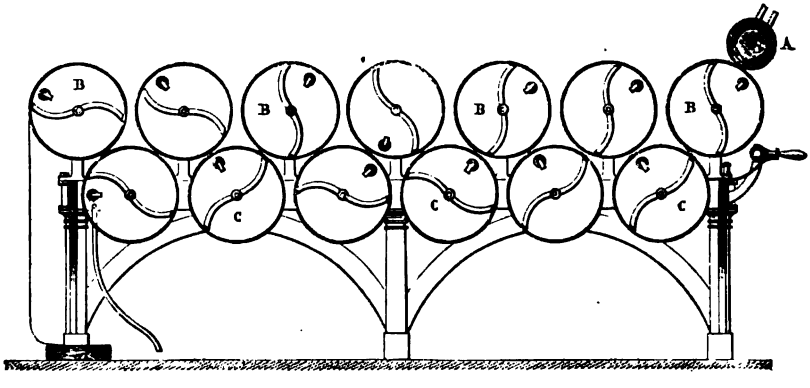


Fig. 417.

M. Moulfarine. Cette machine est composée d'un bâtis en fonte, sur lequel sont ajustées horizontalement l'une sur l'autre deux rangées de cylindres creux en cuivre rouge, d'égal diamètre, B,B..., C,C...

dans chacun desquels la vapeur arrivant de la chaudière est admise par l'un des fonds. L'étoffe que l'on veut faire sécher passe successivement entre ces cylindres, en embrassant la surface inférieure, de ceux qui forment la rangée du dessous, et la surface supérieure des cylindres du dessus ; elle va ensuite s'enrouler autour d'un rouleau A, placé sur le premier des cylindres supérieurs, et qui tourne par le simple frottement qu'il éprouve contre ce cylindre.

Les deux extrémités des cylindres sont représentées, en coupe verticale par le centre de l'axe, dans la figure 418 ; l'extrémité de droite est celle par laquelle la vapeur, arrivant de la chaudière, est

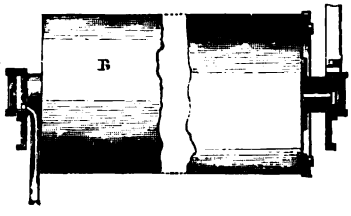


Fig. 418.

Fig. 419.

admise dans l'intérieur du cylindre. La figure 419 représente, en coupe et sur une plus grande échelle, la boîte à étoupes dans laquelle tourne le tourillon de ce cylindre.

Dans chacun des cylindres, l'extrémité qui ne reçoit pas la vapeur est munie intérieurement d'un tube en forme d'S (*fig.* 417), tournant avec le cylindre dans lequel il est adapté, et ayant pour objet de ramasser, en tournant, l'eau formée dans le cylindre par la condensation de la vapeur, pour la reporter à la hauteur de l'axe du cylindre, où elle est évacuée par un tuyau. A cet effet, le tourillon de ce bout du cylindre est, comme celui de l'autre bout, formé d'une douille qui reçoit à son centre l'eau que lui amène le tuyau ; et comme cette douille est placée dans une boîte à étoupe pareille à celle d'admission de la vapeur, l'eau qui arrive par le centre de la douille passe entre les fuseaux de la lanterne qui comprime l'étoupe, et se rend au dehors. Chaque cylindre est percé sur un des fonds d'un orifice fermé par une plaque intérieure, maintenue par un ressort, afin d'éviter la rupture du cylindre par un vide partiel qui pourrait s'y produire.

Chacun des cylindres à vapeur porte, sur le bout par lequel se fait l'entrée de la vapeur, un cercle denté. Les cercles dentés, placés sur les trois premiers cylindres de droite, portent chacun 98 dents, et

le nombre des dents de tous les autres augmente successivement d'une unité, de manière à faire subir au tissu que l'on fait sécher une traction qui sert à le tendre convenablement, à mesure qu'il passe d'un cylindre sur l'autre, jusqu'à ce qu'il arrive au rouleau. Les tourillons de ce rouleau tournent librement dans deux fourchettes fixes ; ils montent dans les fentes des fourchettes, qui lui servent de guides, à mesure que le rouleau se garnit d'étoffe.

L'appareil est disposé de manière à recevoir, par une des roues dentées extérieures, celle de droite, le mouvement du moteur, et de façon qu'on puisse établir ou interrompre facilement la communication. Chacun des cercles dentés de la rangée de cylindres supérieurs engrène avec deux cercles dentés de la rangée inférieure, à l'exception des deux extrêmes, qui n'engrènent qu'avec un seul. Par ce moyen, toutes les parties de l'engrenage concourent à attirer le tissu vers le rouleau A, qui doit le recevoir sec et bien tendu.

La pièce de tissu que l'on se propose de faire sécher est d'abord placée en travers à l'extrémité, derrière la machine ; le bout de cette pièce est ensuite cousue à des rubans que l'on a eu soin d'engager entre les treize cylindres, et d'amorcer sur le rouleau. Ces dispositions faites, l'ouvrier chargé de diriger le travail établit la communication de la machine avec le moteur.

1808. On emploie dans quelques circonstances des appareils beaucoup plus simples, et qui sont formés d'un seul tambour en cuivre

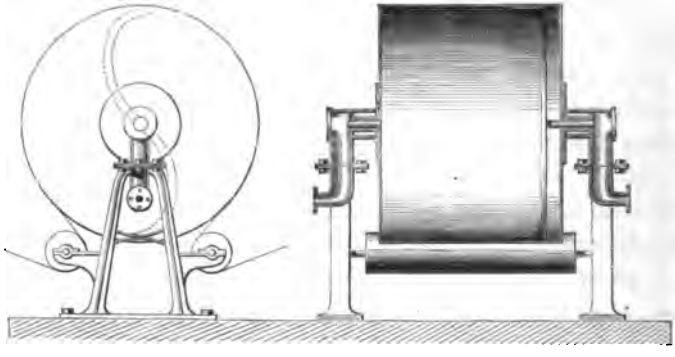


Fig. 420. *Fig.* 421.

d'une grande dimension. Tel est celui qui est indiqué dans les figures 420 et 421. Les dispositions sont les mêmes que dans l'appareil précédent ; mais le mouvement est donné au cylindre d'enroulement, et

c'est l'adhérence de la toile avec la surface du tambour qui détermine sa rotation.

1809. Des machines analogues à celles que nous avons décrites d'abord, sont employées pour sécher les papiers continus. Ces appareils sont placés immédiatement au-dessus de la machine à papier, et se lient avec elle au moyen d'une pièce de drap sans fin, qui vient prendre le papier humide à la sortie de la machine, pour le monter à l'appareil à sécher. Un autre drap sans fin conduit le papier sur des cylindres chauffés à la vapeur.

1810. Quant à l'effet utile de ces appareils, on conçoit d'abord facilement que la quantité d'eau évaporée doit être beaucoup plus petite que la quantité de vapeur condensée, à cause de la chaleur rayonnée par les corps humides, de l'échauffement de l'air, et parce que la totalité de la surface des cylindres n'étant pas couverte d'étoffe humide, une partie se refroidit librement dans l'air ; l'effet utile doit aussi diminuer pour le même corps à mesure que la dessiccation fait des progrès, parce que la perte par le rayonnement est sensiblement constante, tandis que la quantité d'eau vaporisée va constamment en diminuant. Il doit varier aussi avec la nature des tissus et surtout avec leur épaisseur.

1811. En 1850, M. Chameroy a fait plusieurs expériences sur le séchage de différents tissus par leur application sur un cylindre de zinc de 2 mètres de développement, chauffé intérieurement par la vapeur à 100°. On observait la durée de la dessiccation et la quantité d'eau vaporisée. Les quantités d'eau vaporisée par heure ont été de $17^k,70$; $8^k,90$; $2^k,94$; $1^k,28$; $0^k,79$; $1^k,66$, en couvrant le cylindre successivement avec un drap simple, un drap double, des serviettes ouvrées, des chemises neuves de grosse toile, des langes de laine, des chemises de coton. La comparaison de la première et de la seconde expérience fait voir l'influence de l'épaisseur de l'étoffe ; il n'est pas douteux que les autres différences ne proviennent de la même cause. M. Darcy, ingénieur en chef des ponts et chaussées, dans le mémoire qui renferme les détails des expériences dont nous venons de parler, pense que des cylindres en cuivre ou en fer, chauffés intérieurement par la vapeur, transmettraient plus de chaleur que le zinc, parce que la conductibilité des premiers métaux est plus grande que celle du dernier; mais c'est une erreur, la conductibilité des métaux ainsi que leur épaisseur sont sans influence dans les circonstances dont il s'agit, comme cela résulte des expériences rapportées.

Voici les résultats de plusieurs expériences faites par M. Royer (*Bulletin de la Société de Mulhouse*, 1839). 20 pièces de calicot sortant de la presse pesaient 150 kilogrammes ; après 3 heures $^1/_2$ de dessiccation, elles pesaient 76 kilogrammes ; la quantité d'eau évaporée a été par conséquent de 74 kilogrammes, et comme la quantité de vapeur condensée a été de 102 kilogrammes, 1 kilogramme de houille a évaporé $5 \times \frac{74}{102} = 3^k,63$. Des expériences faites sur 325 pièces ont donné, pour l'effet utile de 1 kilogramme de houille, $3^k,65$. La machine était à un seul cylindre et l'eau de condensation était bouillante ; la pression de la vapeur dans la chaudière était de $1^m,37$. D'autres expériences faites avec une machine à six cylindres ont donné seulement $2^k,45$, pour l'effet utile ; mais ces dernières expériences ont eu lieu en hiver, dans une salle mal fermée où la température était voisine de zéro.

1812. Les conclusions d'un mémoire de M. Pénot, appuyées par les expériences de M. Royer et par celles de M. Léon Schwartz, sont : 1° que le mode de séchage des toiles le plus économique est celui qui consiste à les appliquer sur des cylindres chauffés à la vapeur ; 2° que quand les séchoirs, disposés comme ils le sont en Alsace, ferment bien et qu'on peut élever la température de 45 à 50°, il y a de l'économie à n'ouvrir les soupiraux que quand les toiles sont sèches ; 3° qu'il est toujours avantageux d'élever la température autant que possible.

1813. Je partage complétement l'opinion de M. Penot, et d'autant plus que les appareils de séchage, par l'application des toiles sur des cylindres chauffés par la vapeur, peuvent facilement être améliorés de manière à produire un grand accroissement d'effet utile. La chaleur latente de la vapeur condensée dans le cylindre se dissipe de deux manières : par la vaporisation de l'eau renfermée dans la toile, par le rayonnement de la surface et l'échauffement de l'air. Ces pertes réunies forment une partie très-notable de la chaleur dépensée, parce que le rayonnement de l'eau étant très-considérable (911), la chaleur perdue excède celle que perdrait une surface de fonte à la même température, exposée à l'air. On peut éviter en très-grande partie la perte de chaleur due au rayonnement en recouvrant à distance l'appareil d'une enveloppe de bois épaisse, garnie à l'intérieur d'une plaque métallique qui s'échaufferait d'abord par le rayonnement des cylindres, transmettrait peu de chaleur à l'extérieur à cause de son épaisseur et de sa faible conductibilité, et qui, ayant atteint la tempé-

rature du cylindre, lui enverrait autant de chaleur qu'elle en recevrait. Quant au renouvellement de l'air autour des cylindres, on l'évitera presque complétement, si l'enveloppe descend au même niveau tout autour du cylindre.

CHAPITRE XIII

Séchage des matières pulvérulentes.

1814. Le séchage des matières pulvérulentes peut s'exécuter à l'air libre comme celui de toutes les autres substances ; mais ce mode de séchage présente beaucoup plus de difficultés pour les corps dont il s'agit, parce que, ces corps ne pouvant être étendus que dans le sens horizontal, leur dessiccation exige un espace très-grand, disposé d'une manière particulière. C'est cette méthode que l'on emploie dans tous les moulins à farine dans lesquels on lave le blé ; ce dernier est séché sur des aires pavées exposées à l'air libre.

1815. Mais quand le séchage doit être prompt et continu, on emploie les mêmes procédés que nous avons déjà indiqués pour les tissus ; on place les matières en couches minces dans un espace où l'on fait circuler de l'air chaud, ou sur des surfaces métalliques que l'on chauffe directement par l'air chaud ou par la vapeur. La seule différence entre ces séchoirs et ceux dont nous avons déjà parlé, consiste dans la disposition des matières dans le séchoir.

1816. Nous ne nous arrêterons que sur quelques modes de dessiccation qui présentent des particularités intéressantes, et d'abord sur celui de l'orge germée dans les brasseries.

1817. On sait que, dans les brasseries, pour disposer l'orge à la fermentation alcoolique, on commence par lui faire éprouver un commencement de germination, qu'on arrête, par une dessiccation à l'air chaud, quand elle a acquis le développement convenable. Les séchoirs employés portent le nom de *tourailles*. Les tourailles sont ordinairement composées d'un plancher *ab* de 4 à 6 mètres de côté (*fig.* 422), formé d'une toile métallique à maille serrée, ou de feuilles de tôle percées d'un grand nombre de petits trous, sur lesquelles on étale l'orge germée, qu'on fait traverser par un courant d'air chaud. En Angleterre, le sol est recouvert de briques également percées d'un grand nombre de petits trous. Le foyer est surmonté d'une voûte, et l'air brûlé se dégage en B par des orifices latéraux où il est mêlé

avec de l'air froid qui pénètre par les conduits C, C; cette disposition a pour objet d'abaisser la température de l'air brûlé et d'empêcher la combustion des germes qui se détachent des grains et dont la chute dans le foyer produirait une fumée nuisible. On emploie toujours des combustibles qui ne donnent pas de fumée : du coke, du charbon de bois, des houilles sèches ou certains anthracites. A Paris, on emploie des houilles de Frênes. Au-dessus du sol du séchoir se trouve une chambre garnie d'une cheminée destinée à l'écoulement de l'air chaud et des vapeurs. L'orge germée, en entrant dans la touraille, renferme de 0,34 à 0,38 d'eau. La dessiccation doit s'effectuer lentement; car si la température était portée brusquement à 60°, la fécule se convertirait en empois, et celui-ci, par sa dessiccation, formerait un corps dur qui se délayerait difficilement dans l'eau. La température finale varie suivant la nature de la bière qu'on veut fabriquer. L'épaisseur de la couche est de $0^m,15$ à $0^m,20$. L'opération dure de 36 à 50 heures.

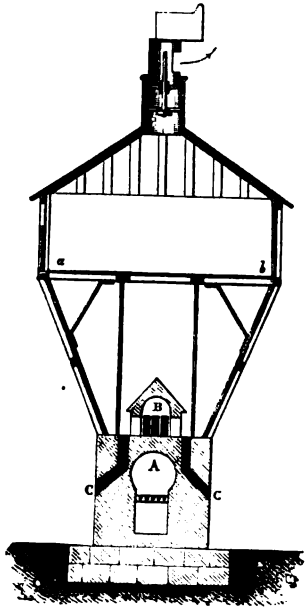


Fig. 422.

1818. Pour éviter les inconvénients qui peuvent résulter du chauffage par la combustion directe, on peut employer un calorifère quelconque disposé de manière à répartir l'air chaud à peu près uniformément dans la section de la touraille, et par conséquent à produire une dessiccation uniforme, ce qui n'arrive pas dans les tourailles à chauffage direct; car l'air chaud, en sortant du foyer, s'élève rapidement et doit plus chauffer le centre du plancher que les parties environnantes.

1819. Ce mode de séchage doit occasionner une grande perte de chaleur, surtout à la fin de l'opération, parce que l'air ne sort pas saturé. Dans quelques établissements on a évité l'inconvénient que je viens de signaler en employant des tourailles à deux étages dont les planchers en toile métallique sont couverts d'orge germée. Indépendamment de l'économie de combustible, cette méthode doit être plus avantageuse que l'ancienne, parce que l'orge de l'étage supérieur sèche lentement et qu'il ne se forme pas d'empois.

1820. La figure 423 représente la disposition d'une touraille continue, construite dans une grande brasserie de Louvain par M. Lacambre, ingénieur distingué, et auteur bien connu par ses travaux sur la fabrication de la bière et la distillation. L'orge est séchée sur des cadres en fer inclinés A,A..., garnis de toiles métalliques, mobiles autour de leurs centres, auxquels la tige verticale BB imprime des secousses continues qui font tomber l'orge, successivement d'un cadre sur l'autre ; chaque châssis dépasse le précédent de $0^m,12$. L'orge est amenée d'une manière continue à l'extrémité la plus élevée des deux châssis supérieurs par des tuyaux C. DD est un plancher sur lequel l'orge tombe après sa dessiccation. L'espace E est occupé par les calorifères ; l'espace voisin par un tarare destiné à nettoyer l'orge desséchée.

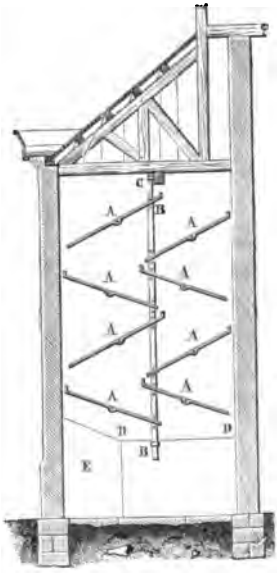


Fig. 423.

Les deux calorifères ont ensemble 100 mètres carrés de surface de chauffe ; on y brûle 450 kilogrammes de houille en 12 heures, et on sèche 50 hectolitres de malt, renfermant chacun de 27 à 36 kilogrammes d'eau. Chaque kilogramme de combustible évapore donc de $1^k,7$ à $2^k,2$ d'eau. D'après M. Lacambre, pour dessécher 100 hectolitres de malt, on consommait de 1100 à 1200 kilogrammes de houille dans les anciennes tourailles à 2 étages, et seulement 900 dans l'appareil que nous venons de décrire.

1821. Dans ces différents modes de dessiccation, la chaleur est fort mal employée, car on n'utilise qu'une très-petite partie de celle que produit la combustion ; en outre, les appareils me semblent difficiles à conduire et à diriger, de manière à graduer le séchage et à atteindre à la fin la température déterminée par la nature de la bière qu'on veut produire. On arriverait certainement à de meilleurs résultats en opérant la dessiccation dans des vases de quelques mètres carrés de section, à double fond, le fond supérieur étant formé d'une toile métallique serrée, et l'intervalle des deux fonds recevant un courant d'air chaud lancé par un ventilateur, courant dont on pourrait à volonté régler la vitesse et la température. Cette disposition permettrait de faire varier l'épaisseur de la couche de matière,

et de l'agiter du moins vers la fin de l'opération. On pourrait aussi effectuer le séchage dans le vide, en chauffant le vase extérieurement au bain-marie par un courant d'eau chaude, dont on réglerait facilement la température et la vitesse ; mais il faudrait renouveler continuellement les matières en contact avec le vase, car autrement la chaleur se transmettrait difficilement dans la masse. A mon avis, la première disposition serait bien préférable.

1822. La figure 424 représente une autre disposition de séchoir, imaginée aussi par M. Lacambre. La matière à dessécher est étalée sur 8 planchers A, A..., inclinés successivement en sens contraire ; un calorifère *a*, *b*, *c*, *d*, placé au bas du séchoir, chauffe un courant d'air chaud qui, entrant par l'orifice O, parcourt successivement tous les étages et s'échappe dans une cheminée par l'orifice O'. La matière à sécher est descendue périodiquement d'un étage au suivant, par des portes latérales B, B.... ; elle est enfin reçue dans un sac S placé à la partie inférieure. Par cette disposition, l'air chaud parcourt successivement les toiles et les surfaces des corps à sécher, mais ne passe pas nécessairement à travers leur épaisseur. Il est évident qu'on le forcerait à suivre ce chemin, en fermant, pendant les intervalles de déplacement de la matière, les plus petites distances des étages. Cet appareil a été principalement appliqué à la dessiccation de la fécule ; il pourrait l'être également à la dessiccation du malt.

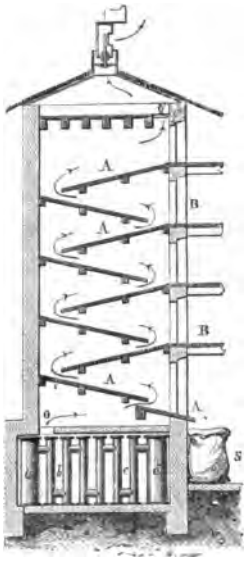


Fig. 424.

1823. On peut obtenir la continuité dans les appareils de dessiccation des matières pulvérulentes par les mêmes moyens que dans la dessiccation des étoffes. La figure 425 représente un appareil très-simple, qui satisfait complétement à cette condition. A et B sont deux rouleaux placés dans une caisse fermée, et autour desquels se trouve une toile sans fin, mise en mouvement par la rotation que l'on imprime à l'un des rouleaux. La matière à sécher tombe sur la toile sans fin par la trémie C ; et, après avoir parcouru la longueur de la caisse, elle est reçue dans la trémie D. L'air chaud arrive à l'extrémité E et sort à l'extrémité opposée F, par des tuyaux rectangulaires de la largeur de la caisse ; son mouvement est produit par

un ventilateur ou par une cheminée d'appel. On obtiendrait certainement un plus grand effet utile si la partie supérieure de la caisse était occupée par des tuyaux pleins de vapeur. La matière serait exposée au rayonnement de ces tuyaux; l'air serait échauffé à mesure

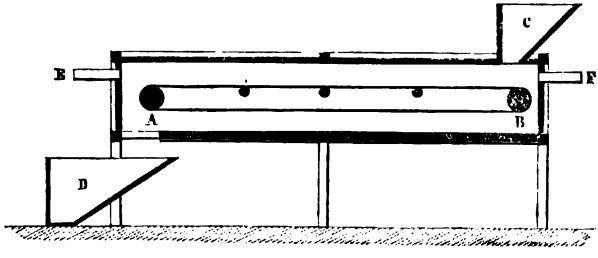


Fig. 425.

qu'il se refroidirait par la vaporisation, et il pourrait sortir saturé à une plus haute température.

1824. La figure 426 représente une disposition analogue, mais qui contient plusieurs toiles sans fin, dont les mouvements ont lieu en sens contraires, par des engrenages fixés sur les axes des rouleaux

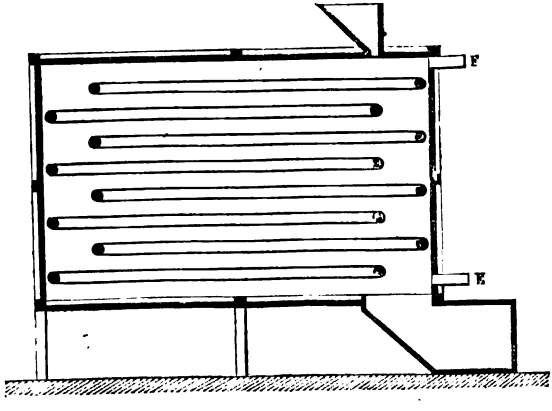


Fig. 426.

placés du côté de celui sur lequel le moteur agit directement. L'air chaud arrive par le tube E, et sort par le tube F. Cette disposition permet de ne donner qu'une petite longueur à l'appareil; mais il exige des roues dentées nombreuses, et un travail plus considérable que celui qui est employé dans le séchoir décrit précédemment. Cet appareil n'a pas donné de bons résultats.

1825. La figure 427 représente un séchoir à tiroirs, qui, sans être continu, permet de ne laisser échapper que de l'air saturé. Les tiroirs s'appuient alternativement à gauche et à droite, contre les faces

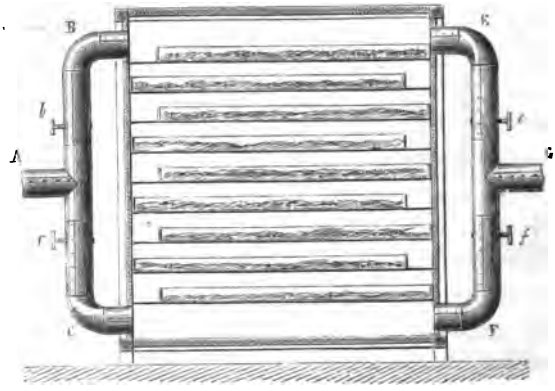


Fig. 427.

latérales de la caisse dans laquelle ils sont placés, et les planches qui les supportent sont garnies de larges orifices dans les parties qui ne sont pas couvertes par les tiroirs ; par cette disposition, l'air peut circuler successivement sur toutes les matières déposées dans la caisse. L'air chaud arrive par le canal A ; mais il peut être dirigé vers la partie supérieure ou vers la partie inférieure de la caisse, au moyen des deux tuyaux B et C et des registres *c* et *b*. De même, l'air qui a traversé la caisse peut s'écouler dans le canal G, par le bas ou par le haut, au moyen des tuyaux E et F et des registres *e* et *f*. En fermant les registres *c* et *e*, l'air chaud arrivera par la partie supérieure de la caisse, et s'écoulera par sa partie inférieure ; et quand la dessiccation, qui se fera nécessairement plus vite à la partie supérieure qu'à la partie inférieure, aura atteint les tiroirs du milieu, on videra ceux de la partie supérieure, on les remplira de matière humide, et on fera marcher l'air en sens contraire. Lorsque la moitié inférieure des tiroirs, dans lesquels la dessiccation s'opérera alors plus vite que dans l'autre, ne renfermera plus que des matières sèches, on les videra, on les remplira de matières humides, et on fera marcher l'air chaud en sens contraire.

1826. Dans ces deux dernières dispositions, comme dans celle de la figure 425, on augmenterait beaucoup l'effet utile et la rapidité de l'opération, si dans chaque circuit il y avait une série de tuyaux

à vapeur, destinés à chauffer les corps par le rayonnement, et l'air par le contact.

1827. M. Galland, de Nancy, a fait établir à la brasserie de Maxéville une touraille dans laquelle l'emploi de la chaleur est parfaitement méthodique. Cet appareil se compose d'une tour carrée (*fig.* 428) en maçonnerie ayant 3 mètres de côté à l'intérieur. Dans

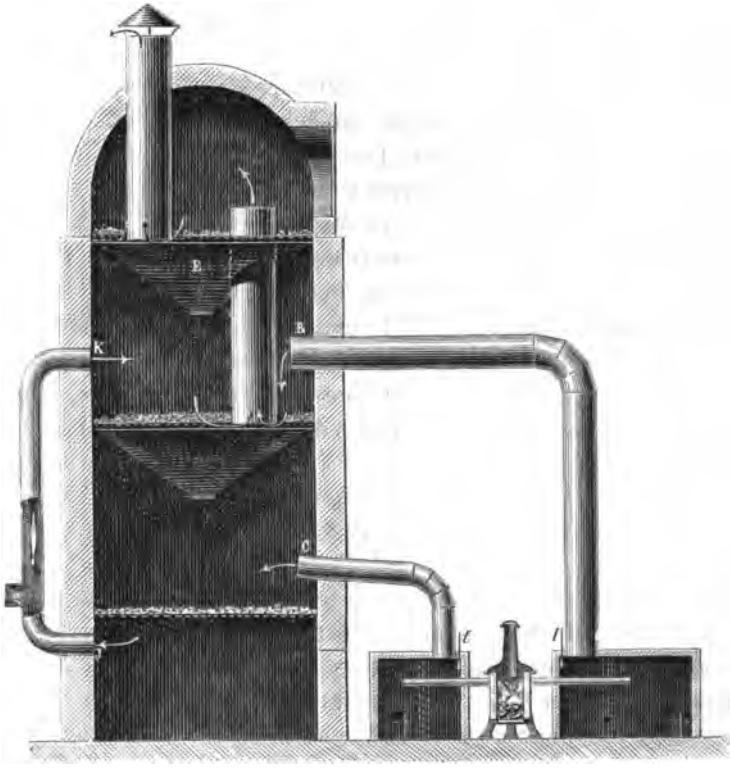


Fig. 428.

le sens de la hauteur elle est divisée horizontalement par trois plateaux en toile métallique. L'appareil de chauffage, qui est absolument indépendant, se compose d'un foyer à combustion longue, présentant deux tuyaux pour l'écoulement des produits de la combustion. Ces deux tuyaux se rendent chacun à une chambre en briques dans laquelle des trappes convenablement disposées permettent une introduction plus ou moins considérable de l'air extérieur. L'air pénètre dans ces chambres sous l'influence d'une dépres-

sion résultant d'un appel fait plus loin par un jet d'air comprimé.

Les trappes de mélange sont réglées de telle façon que la température de l'une des chambres soit de 40° et celle de l'autre de 100°; des thermomètres placés dans chacune de ces chambres permettent de régler la température. L'air à 40° traverse un faisceau de toiles métalliques destinées à produire une filtration grossière de l'air et à aider au mélange, puis sort par un tuyau A qui aboutit en B au-dessus du plateau OP. Au-dessous de chacun des plateaux OP et *mn* se trouve disposée une trémie en tôle pleine, munie à la partie inférieure d'un tampon mobile qui permet le passage du grain d'un plateau à l'autre et en même temps empêche le passage ascensionnel de l'air à travers les plateaux. Le courant d'air chaud amené en B est donc forcé de passer à travers la toile métallique OP et du grain qui la recouvre ; l'épaisseur de la couche de grain est $0^m,25$ environ. Un tuyau CD prend l'air au-dessous du plateau OP et le rejette en D au-dessous du plateau MN. Enfin l'air, sortant en D, traverse la couche de malt supportée par le plateau *mn* et est rejeté à l'intérieur en F par le tuyau EF dont l'ouverture est au-dessous de ce plateau. Le malt est introduit d'abord sur le plateau *mn;* il subit l'action de l'air arrivant en D lequel a déjà traversé la couche de malt du plateau OP ; après un séjour de 24 heures sur le plateau *mn*, le malt descend en OP, où il subit l'action directe de l'air à 40°. Enfin, après un séjour de 24 heures sur ce second plateau, il descend sur le plateau *qr* qui est traversé par de l'air à 110° arrivant en G dans la seconde chambre, et s'écoulant par le tuyau JK après avoir traversé la couche de malt du plateau *qr;* sur ce tuyau JK se trouve en L une ouverture munie d'un registre qui laisse pénétrer l'air extérieur de façon à ramener à 40° la température de l'air circulant dans le tuyau JK. C'est dans ce tuyau JK que se trouve placé un jet d'air comprimé. Ce système a donné d'excellents résultats, tant au point de vue de l'économie qu'à celui de la simplicité du service et de la qualité des produits, qui se conserve complète par suite de la température graduée à laquelle le malt est soumis.

CHAPITRE XIV

Séchage dans le vide.

1828. Si l'on plaçait dans un espace fermé une substance humide

et un corps très-hygrométrique, la dessiccation s'effectuerait d'elle-même. L'appareil devrait être disposé de manière qu'il pût facilement recevoir la chaleur des corps environnants. Dans l'air la dessiccation serait très-lente, mais dans le vide elle serait rapide.

La dépense de ce dernier mode de séchage consisterait dans le prix de l'action mécanique nécessaire pour former et maintenir le vide, et dans celui de la dessiccation ou du renouvellement de la matière absorbante. Les matières qu'on pourrait employer sont la chaux, le chlorure de calcium, l'acide sulfurique concentré, etc.

1829. Ce mode de séchage paraissait devoir présenter de grands avantages pour la dessiccation des viandes, qui pourraient alors être conservées très-longtemps sans perdre aucune de leurs propriétés. M. Gay-Lussac a fait à ce sujet une expérience intéressante ; il avait suspendu un morceau de bœuf dans le récipient d'une machine pneumatique, au-dessus d'une capsule renfermant du chlorure de calcium ; il fit le vide dans la cloche ; la viande se dessécha complétement ; deux mois après avoir été retirée, elle fut employée à faire du bouillon qui était fort bon : la viande n'était pas coriace et se coupait très-bien. Comme cette question pourrait être d'un grand intérêt pour la marine et pour l'utilisation générale des viandes des pays de production, je pense qu'il serait intéressant de reprendre les expériences de M. Gay-Lussac, d'étudier les circonstances les plus favorables à la dessiccation et les prix de revient de la viande ainsi préparée. Cette question de la conservation de la viande a depuis longtemps exercé l'esprit des inventeurs, et jusqu'ici aucune solution d'une efficacité absolue ne paraît avoir été obtenue.

1830. M. Galland, de Nancy, a appliqué simultanément la chaleur et le vide à la dessiccation du malt. Dans cette disposition, on peut appliquer au chauffage la vapeur d'échappement des machines.

L'opération comprend deux phases : dans la première, le malt est soumis à une première dessiccation à l'air libre ; dans la seconde, on achève d'enlever l'eau par l'action combinée du vide et de la chaleur.

Le séchage préparatoire se fait sur deux plateaux superposés A et B (*fig.* 429). Le malt vert, étendu sur le plateau plein A en couches de $0^m,20$ à 0^m25 d'épaisseur, est retourné continuellement par quatre râteaux *a*, montés sur un axe vertical, XX et chauffé légèrement par l'air de la chambre inférieure ; il perd ainsi les premières portions de l'air qu'il renferme et, au bout de 6 heures, on le jette par la trappe T sur le plateau B qui est en tôle percée ou en toile métal-

lique; là, il est traversé pendant le même temps par un courant d'air chaud. A cet effet, le plateau est entouré d'une cloison circulaire *b b* en bois qui forme un espace annulaire NN entre elle et un mur en briques qui l'environne.

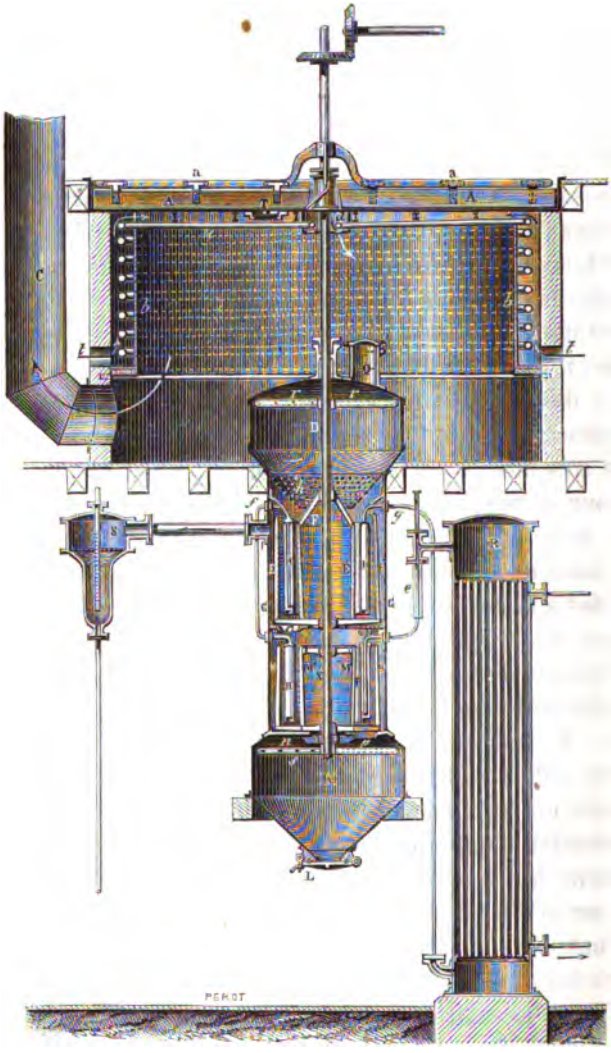


Fig. 429.

Dans cet espace se trouve un serpentin à eau chaude qui commence par six tuyaux *u u*, placés diamétralement sous le plateau A;

ce serpentin est alimenté par un réchauffeur chauffé par la chaleur perdue du foyer des générateurs.

L'air est admis par six ouvreaux inférieurs *t*, *t*, s'élève en se chauffant, débouche dans la chambre par six ouvertures supérieures *d*, *d*, récupère, au contact des tuyaux *u*, *u*, la chaleur qu'il cède au plateau A, descend, traverse le malt de haut en bas et s'échappe par la cheminée C où il est appelé par l'aspiration naturelle ou par un moyen mécanique, ventilateur ou jet d'air comprimé. Au bout de 6 heures, le malt a perdu plus de la moitié de son humidité, et il est alors introduit dans l'appareil à vide, sa température étant de 40°.

Cette seconde partie de l'appareil, tout en tôle, est formée d'une trémie cylindro-conique D, munie d'un presse-étoupe et d'un trou de chargement Q, la partie inférieure *hh*, est en tôle trouée ; cette trémie se prolonge par un cylindre vertical GG, muni d'une tubulure I et qui se termine par une trémie inférieure cylindro-conique K, fermée par une porte à charnière L, l'axe XX pénètre presque vers le fond de l'appareil. La tubulure I communique avec un condenseur à eau S, dans lequel une pompe à air fait le vide pendant toute la durée de l'opération ; en même temps cette pompe enlève l'eau condensée et la vapeur qui a échappé à la condensation. Les trémies D et K peuvent contenir une charge entière, c'est-à-dire tout le malt séché en six heures sur le plateau B. Deux bras *r*, *r* égalisent le malt versé par le trou Q ; ce malt, glissant sur le cône *hh*, s'engage dans le séchoir. EE' est une capacité cylindrique annulaire dont les parois sont en tôle percée, elle est surmontée d'un cône FF fixé par deux croisillons à l'axe X, la partie inférieure des bras Y ainsi fixés à l'arbre supportent le système qui est entraîné dans le mouvement de rotation de l'arbre. Cette espèce de vase tourne au-dessus du plateau fixe *mm*, percé d'une ouverture O, de telle sorte que le malt, passant successivement sur cette ouverture, s'abaisse d'une manière continue et régulière dans le cylindre et qu'il est remplacé au fur et à mesure par du malt de la trémie D ; la largeur de l'intervalle EE' est de $0^m,20$; la partie médiane de cet intervalle est occupée par un vase en tôle HH annulaire, haut de 1 mètre et large de $0^m,10$ fixé par quatre bras à la paroi du cylindre GG. Un tuyau *ff* amène de l'eau à 75° en deux points au fond de ce vase ; un tuyau *gg* la reprend en deux autres points à la partie supérieure ; on obtient ainsi une grande surface de chauffe avec une faible hauteur ; le malt descend à l'ouverture du courant d'eau, et sa température s'accroît de 40 à 60°, tandis que celle de l'eau décroît de 75 à 50°. Pour faciliter la des-

cente du malt, les parois du vase EE′ présentent une inclinaison de 2 centimètres sur la hauteur. Le mouvement de rotation renouvelle constamment les surfaces, et l'agitation du grain détermine la séparation des germes.

Sous l'influence combinée de la chaleur et du vide, le malt a perdu la seconde moitié de son humidité ; il tombe alors dans le torréfacteur MM′ par l'ouverture O ; ce torréfacteur est semblable au séchoir placé au-dessus, sauf en ce qui concerne la hauteur, qui n'est que de $0^{m},75$; le vase à eau PP reçoit par le tuyau CC de l'eau à 100° et c'est cette eau refroidie à 75° qui se rend par le tuyau *f f* dans le vase HH du séchoir. L'eau à 100° vient d'un réchauffeur tubulaire R chauffé par la vapeur d'échappement de la machine motrice, cette vapeur circule autour des tubes, l'eau est dans le faisceau tubulaire. Cette eau quitte le réchauffeur par le tuyau *e* et y retourne par le tuyau *g* qui l'amène à la partie supérieure du réchauffeur. Dans le torréfacteur, le malt perd les dernières portions de son eau et prend dans le vide une température qui s'élève jusqu'à 75° ; le malt quitte le torréfacteur par l'ouverture *p* et tombe dans la trémie K où des bras *s, s* l'égalisent ; il s'y refroidit et on peut l'entraîner par la porte L, toutes les 6 heures. On pouvait obtenir une température plus élevée dans le torréfacteur en introduisant dans le réchauffeur R une dissolution concentrée de sel qui pouvait être portée à 108° ; les vapeurs d'échappement, pour fournir cette température, devaient être légèrement surchauffées, ce qu'on pourrait faire au moyen de la chaleur perdue du foyer.

LIVRE XI

CHAUFFAGE DE L'AIR.

1831. On peut chauffer l'air d'un grand nombre de manières différentes : 1° en le mêlant aux produits de la combustion ; 2° en le mettant en contact avec des surfaces chauffées directement, soit par la fumée ou la vapeur, soit par l'eau chaude ou d'autres liquides. Le premier mode de chauffage est principalement employé pour produire le tirage des cheminées d'appel; il l'est aussi dans le chauffage domestique ; je m'en occuperai quand il sera question du chauffage et de l'assainissement des lieux habités. Quant aux autres modes de chauffage de l'air, je les examinerai successivement.

On désigne, sous le nom de calorifères à air chaud, les appareils dans lesquels l'air est échauffé par la chaleur de l'air brûlé à travers des enveloppes métalliques ou en terre cuite. Je ne m'occuperai ici que des grands calorifères destinés à chauffer de l'air pris à l'extérieur et à le verser ensuite dans les lieux où il doit être utilisé.

CHAPITRE PREMIER

Calorifères à air chaud placés dans les pièces qui doivent être chauffées et ventilées.

1832. Le cas que nous considérons est celui des salles des écoles primaires, des salles d'asile, parce que les calorifères doivent y être surveillés par les maîtres eux-mêmes, et qu'en plaçant les calorifères dans les salles, on profite de toute la chaleur produite, ce qui n'arriverait pas si l'appareil était placé en dehors. C'est aussi le cas des petites salles d'hôpital.

1833. La disposition la plus simple de ces appareils consiste en une colonne verticale rectangulaire ou cylindrique de $1^m,50$ à 2 mètres de hauteur, renfermant le foyer, surmontée d'un tuyau également vertical

qui se recourbe ensuite horizontalement pour aboutir à la cheminée ; la colonne qui contient le foyer est environnée d'une enveloppe de tôle ou de maçonnerie légère; l'intervalle de la colonne et de l'enveloppe communique par le bas avec un canal qui s'ouvre au dehors, et, par le haut, avec l'air de la pièce. Cette disposition est évidemment la plus économique sous le rapport des frais d'établissement et de l'effet utile du combustible ; car le tirage a lieu dans la partie verticale du tuyau, et la fumée pourrait être complétement refroidie dans le tuyau horizontal.

1834. La surface de la grille peut se déterminer d'après la quantité maximum de combustible à brûler par heure ; cette quantité doit représenter le nombre de calories qui passent dans le même temps à travers les vitres et les murailles, dans les circonstances les plus défavorables. Mais il convient toujours d'employer de très-grandes grilles de manière à avoir des feux dormants.

1835. Connaissant la hauteur de leur partie verticale, on pourrait calculer avec une approximation suffisante la section des tuyaux, par la même méthode que pour les générateurs. Mais cette section doit être déterminée par une autre considération, celle de l'étendue de la surface de refroidissement, ce qui, à moins que les tuyaux n'aient une très-grande longueur, conduit à des sections plus grandes que celles qu'exigerait le tirage. Dans la disposition que nous avons indiquée, on ne peut pas compter que le foyer soit à une température supérieure à 600 ou 700°, à cause de la chaleur rayonnée sur l'enceinte constamment refroidie par le courant d'air traversant l'espace qui la sépare de l'enveloppe extérieure. L'air brûlé qui sort du foyer se refroidit dans les tuyaux, et toujours davantage à mesure qu'il s'approche de la cheminée : ce refroidissement dépend à la fois de la vitesse d'écoulement, de la perte de chaleur par le tuyau et de la répartition de la chaleur dans chaque tranche transversale. Ces phénomènes sont si compliqués et si variables, qu'il est impossible de calculer exactement la température des différents points des tuyaux et par suite l'étendue de la surface de chauffe. Mais on peut trouver une valeur suffisamment approchée pour les applications, en admettant que l'air brûlé s'échappe du foyer à une température voisine de 500°, qu'il se refroidit complétement dans son parcours, que la température de la pièce est de 15°, et que la quantité de chaleur émise est la même que si le tuyau avait dans toute son étendue la température moyenne de 250°. D'après cela, la quantité de chaleur émise par mètre carré et par heure, pour un tuyau de

$0^m,15$ de diamètre, serait donc, d'après la formule (923), égale à $712.\ 3,36 + 462.\ 2,3 = 3358$ calories : ainsi, pour refroidir l'air brûlé qui, en sortant de la colonne, renferme encore à peu près les $\frac{5}{12}$ de la chaleur produite, c'est-à-dire 3333^c, il faudra $\frac{3333}{3358} = 1^{mq}$ de surface de chauffe. C'est une évaluation un peu grossière, mais il faut remarquer qu'une variation, même assez considérable dans l'étendue de la surface, n'a pas une influence très-grande sur l'effet utile, attendu que les variations se portent toujours sur l'extrémité du tuyau, laquelle transmet le moins de chaleur : c'est comme pour les générateurs à vapeur. On compte ordinairement $1^{mq},50$ à 2^{mq} de surface de chauffe pour chaque kilogramme de houille à brûler par heure, non compris les surfaces du foyer.

1836. Les figures 430, 431 et 432 représentent un appareil des-

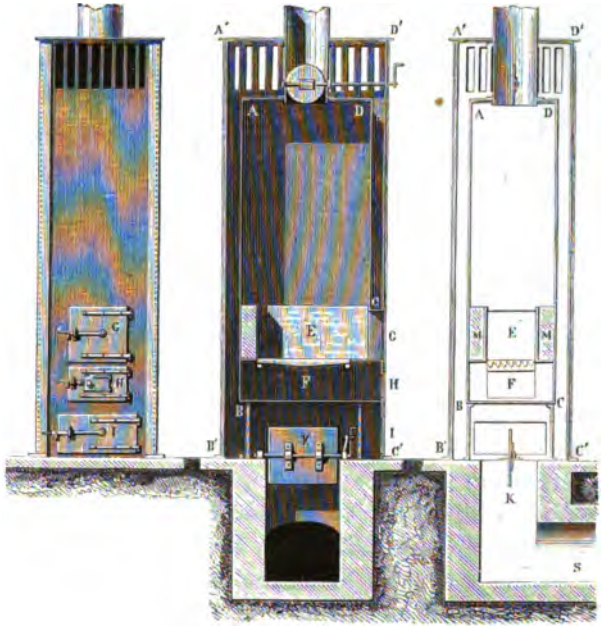


Fig. 430. *Fig.* 431. *Fig.* 432.

tiné à la combustion du bois ou de la tourbe. La première est une élévation ; les deux autres sont deux coupes verticales. ABCD, prisme rectangulaire en tôle ou en fonte qui renferme le foyer ; A'B'CD', prisme extérieur en tôle fixé sur le sol ; E, foyer ; F, cendrier ; G, porte du foyer ; H, porte du cendrier ; I, porte au-dessous du cen-

drier, qui ne reste ouverte que lorsque l'on chauffe la pièce sans la ventiler ; K, registre tournant qui permet d'intercepter la communication de la pièce avec l'extérieur ; on peut le maintenir dans différentes positions, au moyen d'une manivelle dont l'extrémité est munie d'une cheville qui s'engage dans des trous percés sur un demi-cercle en fer fixé sur le sol ; M, briques qui environnent le foyer ; S, canal qui amène l'air extérieur dans le calorifère.

1837. Si l'on voulait placer une plus grande surface de chauffe dans l'enveloppe, ce qui serait nécessaire si le tuyau à fumée ne devait avoir qu'un très-petit développement, on pourrait employer un grand nombre de dispositions différentes. Celle qui est représentée dans la figure 433 est une des plus simples.

Fig. 433.

On a obtenu une augmentation notable de la surface de chauffe du poêle en garnissant la surface extérieure de nervures venues à la fonte. Ces nervures sont disposées suivant une génératrice de la surface cylindrique extérieure du poêle, elles sont plus ou moins saillantes.

1838. On trouve cette application réalisée dans le poêle Gurney représenté fig. 434 ; il se compose d'un certain nombre de douves réunies par des boulons et portant extérieurement les nervures ; celles-ci viennent par les extrémités intérieures plonger dans un vase plein d'eau circulaire et qui est supportée par le socle de l'appareil, à la partie supérieure une calotte mobile sert à fermer l'appareil ; B est l'orifice de chargement ; C une porte qui sert à nettoyer la grille ; D la porte du cendrier ; K est l'issue de la fumée. La disposition en segments permet la dilatation de la fonte et évite les fissures ; la présence des nervures augmente la surface de chauffe et diminue la température de la fonte ; ce dernier effet est augmenté par le contact de la partie inférieure des nervures avec l'eau, ce liquide est en effet vaporisé, et sa vapeur se mélange avec l'air chaud qui l'entraîne ; on a ainsi l'avantage de fournir à l'air l'eau qui est nécessaire pour l'entretenir à un état hygrométrique convenable pour la respiration. On peut reprocher à la disposition adoptée de fournir à l'air une quantité d'eau trop grande, la vaporisation dans le vase annulaire étant très-rapide à cause du contact des

lames. On peut brûler dans ces poêles indifféremment du bois, de la houille ou du coke.

1839. Le *calorifère français* de MM. Geneste fils et Herscher est fondé sur un principe analogue. Il se compose (*fig.* 435) d'une série de bagues ou cylindres en fonte, emboîtées à feuillure libre, l'une au-dessus de l'autre et dont la surface extérieure est munie de nervures. L'appareil est posé sur un socle formant cendrier, ce dernier porte à sa partie supérieure un vase annulaire plein d'eau ; l'appareil est fermé à la partie supérieure par une coupole garnie de ner-

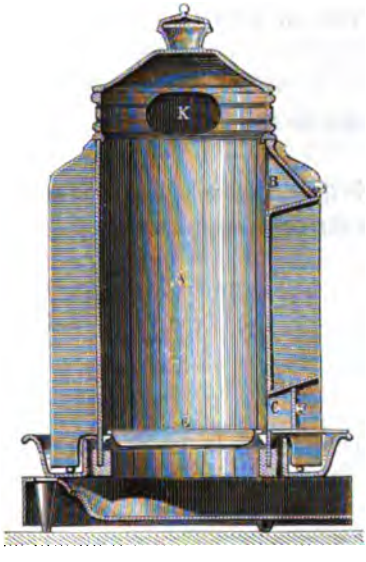


Fig. 434.

Fig. 435.

vures. On remarquera que, dans cet appareil, les nervures ne plongent pas dans l'eau, de sorte que la vaporisation est moins active que dans le cas du calorifère précédent ; elle est réglée de façon à être suffisante et sans excès. Le rétrécissement de la grille à la partie inférieure détermine une fatigue moindre des parois du foyer ; d'ailleurs la disposition adoptée permet en cas d'usure du foyer de ne remplacer que la partie détériorée en laissant subsister tout le reste de l'appareil ; ces différentes considérations nous font préférer cet appareil au précédent.

1840. L'influence des nervures a pour but d'augmenter la surface de chauffe, mais on se tromperait singulièrement si l'on croyait

que la quantité de chaleur transmise est proportionnelle au développement de la surface extérieure. Des expériences faites par William avaient montré que pour les liquides la transmission varie bien moins rapidement que l'étendue de la surface extérieure ; il en est de même pour le cas de l'échauffement des gaz. On peut d'ailleurs s'en rendre compte par un calcul fort simple. Si on représente par T la température moyenne des produits de la combustion, par t la température de la paroi intérieure de la cloche, par t', la température de la paroi extérieure et enfin par θ la température moyenne extérieure de l'air chauffé, si M est la quantité de chaleur absorbée par l'unité de surface de la paroi interne, on aura :

$$M = Q(T - t) \qquad (1)$$

en appelant Q la somme des coefficients de transmission par rayonnement et par contact.

Or cette même quantité M sera celle qui passera pendant le même temps à travers la cloche et qui peut être représentée vu l'épaisseur variable aux différents points par

$$\int_1^0 \frac{C}{E}(t - t')ds \qquad (2)$$

s étant la surface interne traversée.

Enfin si S représente le développement de la paroi extérieure correspondant à l'unité de surface de la paroi intérieure, on aura de même :

$$M = Q(t - \theta)S \qquad (3)$$

L'intégration indiquée par l'équation (2) peut se faire facilement par un profil donné, mais elle n'est pas nécessaire, en effet, si nous considérons que C coefficient de conductibilité du métal est très-grand, tandis que E est relativement petit ; il en résultera que $t - t'$ devra être très-petit et qu'on pourra prendre sans erreur sensible $t = t'$, les équations (1) et (3) deviendront donc

$$M = Q(T - t); \qquad M = Q(t - \theta)S; \qquad (4)$$

d'où

$$(T - t) = (t - \theta)S'. \qquad (5)$$

Or, si nous supposons $T = 500$ et $\theta = 100$, et si nous remplaçons ces valeurs dans la formule (5), en donnant à S différentes

valeurs, on en tirera pour t des valeurs correspondantes qui fourniront, étant remplacées dans l'équation (6), les valeurs de M en fonction de Q. On aura aini :

Valeur de S.	Valeur de t.	Valeur de M.
1	300°	200Q
2	233°	267Q
3	200°	300Q
4	180°	320Q
5	166°	334Q
10	136°	364Q

On voit donc que la quantité de chaleur transmise augmente bien moins rapidement que le développement de la surface extérieure, puisque dans le cas où ce développement varie de 1 à 10, la chaleur transmise varie de 200 Q à 364 ; ainsi donc elle n'a augmenté que dans le rapport de 1 à 1,8. On remarquera de plus que le calcul suppose que toute la chaleur rayonnée est effectivement absorbée par l'air, tandis qu'avec des nervures aussi saillantes que celles qui sont employées, le rayonnement se fait, pour la plus grande partie, de nervure à nervure et que la perte extérieure est limitée à la perte par contact, ce qui doit abaisser la valeur du coefficient de Q; aussi dans la pratique ne doit-on pas admettre pour le rapport de la quantité de chaleur transmise par la surface nervée à celle qui est transmise par la surface lisse, une valeur supérieure à 1,5. Au contraire, le tableau précédent montre l'influence très-considérable des nervures sur l'abaissement de la température du métal.

1841. Dans nombre de cas, il convient de faire descendre la fumée au lieu de la faire monter. La fumée descend entre deux cylindres ayant toute la hauteur du cylindre extérieur et concentriques avec lui ; l'air extérieur s'élève dans les deux espaces annulaires qui se trouvent sur chacune des faces du canal de descente, et l'air brûlé s'échappe au-dessous du sol. C'est une bonne manière de loger une grande surface de chauffe dans un petit espace ; cette surface est d'ailleurs bien utilisée, car elle est chauffée uniformément et parcourue dans toute son étendue par l'air extérieur. On pourrait aussi faire descendre l'air brûlé simultanément par un grand nombre de tuyaux d'un petit diamètre. Enfin toutes les dispositions des calorifères d'appartement, dont nous parlerons plus loin, seraient applicables ; et dans toutes la fumée pourrait se dégager par le haut ou par le bas de l'appareil.

Calorifères à alimentation continue.

1842. Dans tous les appareils dont nous venons de parler, l'alimentation du foyer doit avoir lieu à des intervalles assez rapprochés, ce qui est un grand inconvénient, surtout quand le chauffage et la ventilation doivent se prolonger pendant la nuit, comme dans les hôpitaux. Mais on peut, par une disposition analogue à celle que nous avons indiquée pour les générateurs à anthracite (815), construire des calorifères qu'on n'alimente qu'à des intervalles très-éloignés, par exemple de 8 à 12 heures.

1843. *Appareil de M. Th. Walker.* — Cet appareil (*fig.* 436) se compose d'un tronc de cône ouvert par le bas, fermé par le haut au moyen d'une plaque R dont les rebords plongent dans une petite boîte annulaire TT remplie de sable fin; la partie inférieure s'ouvre à une certaine distance de la grille G. MMLL est une enveloppe extérieure en tôle, munie aux environs du foyer d'un revêtement intérieur en fonte; E représente une porte formée d'une plaque de tôle et d'une toile métallique qui permet, quand la plaque pleine est ouverte, de voir le feu, à travers un orifice percé dans le revêtement en fonte du foyer; C est le régulateur d'accès de l'air extérieur dans le foyer; F, F, parois du foyer; B, cendrier; O, origine du tuyau d'écoulement de l'air brûlé : il est environné de deux cloisons verticales, dont l'intervalle est ouvert par le haut et fermé par le bas, afin que l'air brûlé ne puisse se dégager qu'après avoir monté à la partie supérieure, comme l'indiquent les flèches. Les ouvertures S et V servent pour le nettoyage. Pour allumer le calorifère, on met sur la grille quelques copeaux enflammés et un peu de charbon et on ferme la

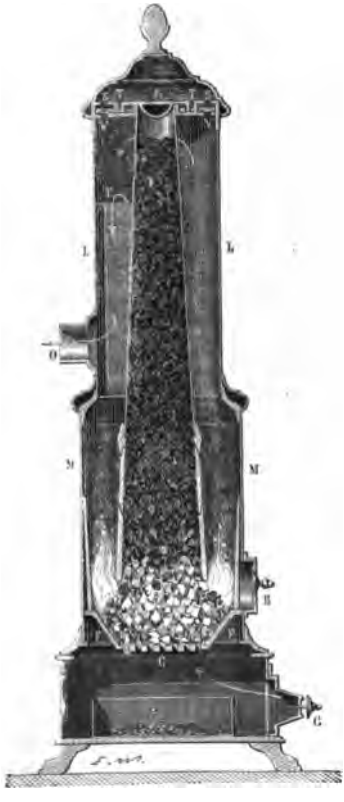


Fig. 436.

porte du foyer; lorsque le charbon est embrasé, on remplit le tronc de cône de coke et on ferme son orifice supérieur R. Cet appareil est bien disposé, il fonctionne régulièrement et le registre C permet de régler à volonté l'activité de la combustion. Mais ce n'est qu'un poêle et non pas un calorifère. Pour le transformer en un calorifère, il faudrait évidemment l'environner d'une enveloppe ouverte par le haut ou fermée en dessus et garnie latéralement d'orifices, et faire communiquer la partie inférieure de l'espace formé par l'enveloppe avec un canal ouvert à l'extérieur.

1844. *Calorifère de Martin, ingénieur à Besançon.* — Cet appareil (*fig.* 437) est disposé à peu près comme celui de M. Walker, mais c'est un véritable calorifère et non un poêle. A, réservoir de coke d'une capacité de $0^{mc},025$; E, tuyau d'écoulement de l'air brûlé, muni d'un registre qui n'est pas indiqué dans la figure ; une cloison transversale, placée à la moitié de la hauteur et percée d'un orifice opposé à E, force l'air brûlé à circuler dans toutes les parties ; G, porte du foyer formée de deux plaques de fonte séparées, et qui ne s'ouvre que pour l'allumage; H, orifice d'accès de l'air dans le foyer fermé par un papillon ; I, cendrier ; K, tuyau d'arrivée de l'air extérieur ; L L, canal annulaire dans lequel s'échauffe l'air avant de pénétrer dans la pièce par un grand nombre d'orifices percées dans l'enveloppe extérieure du calorifère. Dans l'espace PQ on peut placer un vase renfermant de l'eau. L'allumage se fait par la porte G, avant le remplissage du réservoir A ; cette disposition est en général bien entendue, à quelques détails près. La fermeture du réser-

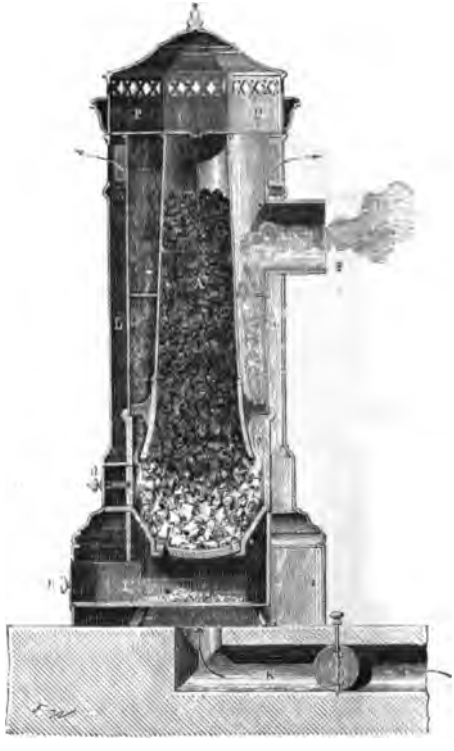


Fig. 437.

voir A devrait être établie par un joint à sable comme dans l'appareil de M. Walker, parce que l'air extérieur qui pénètre dans l'appareil par les fissures des joints diminue son effet utile. La plaque supérieure devrait être garnie d'orifices destinés au nettoyage de l'espace annulaire. Les plaques de fonte qui environnent le foyer doivent s'user rapidement, et l'inventeur reconnaît lui-même qu'elles ne peuvent durer que trois ou quatre ans. D'après l'auteur, la quantité de chaleur qui passe par mètre carré et par heure correspond à peu près à $0^{k},5$ de coke, et l'appareil brûlant 1 kilogramme de coke par heure peut suffire à une pièce de 150^{mc} ayant une surface de muraille de 145^{mq}, dont une moitié serait en contact avec l'air extérieur. Les calorifères en fonte avec enveloppe de tôle que construit la Compagnie parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz et dans lesquels on brûle du coke de gaz sont établis sur un modèle qui est presque semblable à celui qui vient de nous occuper. Il n'en diffère guère que par de légères variations dans les dimensions et la suppression du réservoir à eau.

Fig. 438.

1845. *Calorifère de M. Hurez.* — Ce calorifère (*fig.* 438) a la plus grande analogie avec celui que nous venons de décrire. Le coke ou l'anthracite est placé dans un cylindre en fonte un peu évasé et au bas duquel se trouve une grille mobile; l'air brûlé se dégage par un orifice, pour s'étendre dans un espace annulaire E, communiquant avec le tuyau F d'écoulement. G est une porte en fonte, H est l'orifice d'accès de l'air de combustion, appliqué à la face extérieure du cendrier I. KL est le tuyau d'accès de l'air à chauffer; il s'élève autour du foyer, traverse trois orifices et se répand dans le canal annulaire M qui aboutit à des orifices supérieurs Q. Une partie de l'air s'élève en même temps dans l'espace annulaire compris entre E et N, d'où il s'écoule dans la pièce par les ouvertures Q ; P est une plaque qui ferme le réservoir de combustible.

Dans une autre disposition, il n'y a que deux enveloppes concentriques; l'air extérieur s'élève en rampant dans une hélice entre la surface du réservoir de combustible et la première enveloppe, et l'air brûlé se répand entre la première et la seconde enveloppe.

D'après un rapport de MM. Arnoux, administrateur des Messageries générales, et Garnier, inspecteur général des Mines, ce calorifère est très-propre à brûler les anthracites et les charbons maigres.

1846. *Appareil du docteur Arnott.* — Cet appareil est représenté dans la figure 439. A, réservoir d'eau à sa partie supérieure; B,B, fermetures à sable; C, tampon fermant le réservoir de combustible; D, tuyau d'écoulement de la fumée; E, tuyau d'écoulement de la fumée et de l'air de la pièce entré dans l'espace H par l'orifice K; G, enveloppe extérieure du poêle; II, espace annulaire dans lequel circule la fumée; JJ enveloppe du foyer en briques réfractaires; l'orifice K ne s'ouvre que pour diminuer le tirage; L, orifice d'accès de l'air dans le foyer; en N se trouve une couche de sable de 2 pouces de hauteur; O, ouverture du cendrier; PP, cendrier; Q, grille mobile. Cet appareil

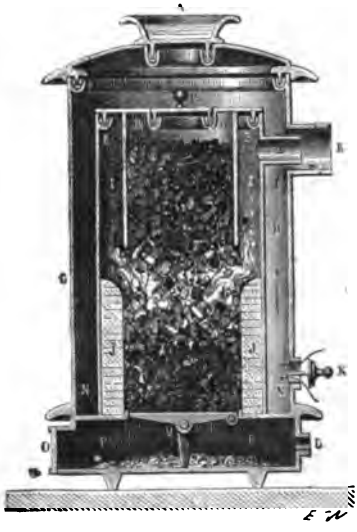


Fig. 439.

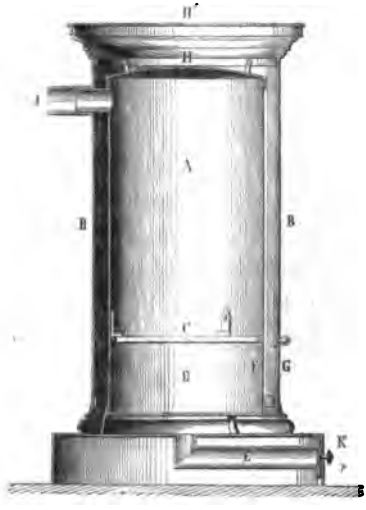


Fig. 440.

a la plus grande analogie avec ceux que nous avons déjà décrits, mais ce n'est qu'un poêle comme celui de M. Walker. Pour le transformer en calorifère, il faudrait éloigner les deux enveloppes et ouvrir leur intervalle, par le bas, dans un canal communiquant avec l'air

extérieur, et par le haut avec la pièce. Dans cet appareil l'effet utile doit être peu considérable, car la chaleur ne se transmet dans la pièce qu'à travers une double enveloppe quand l'orifice K est fermé, et la perte est encore plus grande quand il est ouvert, puisque l'air qui s'échauffe entre les deux enveloppes passe dans le conduit à fumée. En outre, la hauteur du foyer est beaucoup trop grande, et il est à craindre qu'il ne se forme de l'oxyde de carbone ; le réservoir de combustible est trop petit : à la vérité, on pourrait attendre, pour l'alimentation, que le coke fût descendu d'une certaine quantité dans le foyer ; mais alors les circonstances de la combustion changeraient à mesure que la couche de combustible diminuerait, et elles deviendraient de plus en plus défavorables à cause de l'air qui échapperait sans altération. Enfin, M. Arnott a appliqué à son poêle, dans l'orifice L, un régulateur de température imaginé par lui ; mais en supposant que ce régulateur fonctionne régulièrement, il n'est certainement pas applicable à un poêle, car ce n'est pas le poêle qui doit être maintenu à une température à peu près constante, mais la pièce dans laquelle il est placé ; et pour cela la température de l'appareil doit varier, ainsi que la consommation de combustible, avec la température extérieure.

1847. *Calorifère de M. Joly.* — Ce calorifère à alimentation continue, du moins pendant un temps assez long, diffère complétement de ceux dont nous venons de parler. La figure 440 en représente une coupe verticale. A, cylindre renfermant le combustible ; B, enveloppe extérieure destinée à diminuer le refroidissement du foyer ; C, grille ; D, cendrier ; E, tuyau de prise d'air extérieur pour l'alimentation du foyer ; F, porte du cendrier ; G, porte de l'enveloppe extérieure correspondant à celle du cendrier ; H, couvercle du foyer ; H′, couvercle de l'enveloppe ; J, tuyau de dégagement de l'air brûlé ; son diamètre varie de $0^m,04$ à $0^m,08$, suivant les dimensions de l'appareil ; K, régulateur de l'entrée de l'air. D'après tous les renseignements qui m'ont été donnés, ces appareils fonctionnent très-régulièrement jusqu'à la combustion complète du coke, pourvu que les morceaux soient d'une grosseur convenable. Ce poêle qui a servi, surtout dans les petites dimensions, ne brûlait guère que du petit coke des usines à gaz.

Pour se servir de cet appareil, on enlève le cylindre A, on le remplit de coke qu'on allume par la partie supérieure ; quand il est enflammé, on replace le cylindre A dans le cylindre B et on ferme au moyen des couvercles H et H′.

1848. Dans cet appareil, la permanence de la combustion est due à l'enveloppe d'air stagnant du foyer, qui rend son refroidissement très-lent et maintient le combustible à la chaleur rouge. Quoique l'air qui environne le foyer ne se renouvelle pas, ou du moins ne se renouvelle que très-lentement, j'ai reconnu que le cylindre de tôle du foyer s'oxyde assez rapidement ; on éviterait cet inconvénient en environnant la tôle d'une couche de terre à briques.

On arriverait sans doute à produire une combustion lente et continue en employant un cylindre en terre réfractaire pour former le foyer, lequel renfermerait au bas une grille, au-dessous un orifice pour l'accès de l'air, et au-dessus un petit tuyau pour l'écoulement de l'air brûlé.

1849. Aucun des appareils que je viens de décrire ne pourrait être employé comme calorifère chauffant l'air d'appel, sans recevoir des changements importants. Les calorifères anglais de M. Walker et de M. Arnott ne sont que des poêles ; mais, pour les convertir en calorifères, il faudrait, comme je l'ai déjà dit, leur mettre une enveloppe dans laquelle passerait l'air de ventilation. Celui de M. Walker serait préférable, parce que l'épaisseur du combustible y est plus petite et qu'il est peu probable qu'il se forme de l'oxyde de carbone. Celui de M. Martin est bien disposé : faire partir la fumée d'un point plus bas, augmenter la section du canal à air en diminuant celui de l'air brûlé, et faire sortir l'air échauffé par la partie supérieure de l'enveloppe. Dans celui de M. Hurez, il faudrait supprimer une des deux enveloppes, de manière à faire monter l'air brûlé autour du réservoir de combustible, et augmenter les sections des orifices d'entrée et de sortie de l'air chaud. Je pense qu'il y aurait de l'avantage à environner le foyer d'une couche de terre réfractaire, comme dans le poêle de M. Arnott.

Il résulte d'expériences faites par M. Morin que la fonte des poêles chauffée au rouge développe dans l'air ambiant une certaine quantité d'oxyde de carbone ; le même effet se produit, mais à un degré moindre, avec le fer chauffé au rouge ; il est donc important que dans les poêles calorifères, la température ne puisse pas s'élever assez pour faire rougir le métal qui d'ailleurs se détériore rapidement, lorsque cet effet se produit. On avait songé, comme nous l'avons vu dans différents exemples précédemment décrits, à garnir le foyer extérieurement au moyen de briques réfractaires, ou encore à faire le foyer en poterie réfractaire. M. Muller a fait même des poêles qui sont entièrement formés de cette substance. Malheu-

reusement, dans l'état actuel de la fabrication céramique, les foyers de mince épaisseur se détériorent avec une grande rapidité. Le défaut d'homogénéité de la matière fait que l'inégale dilatation amène le plus souvent une rupture au premier feu, il en résulte des fissures, des fuites de fumée, si le tirage est imparfait, ou une mauvaise utilisation, si le tirage est bon. Le foyer en briques à enveloppe de métal ne présente pas ces inconvénients, mais le combustible, se transformant en scories, adhère aux parois du foyer, de sorte qu'à chaque nettoyage journalier on dégrade plus ou moins le foyer et qu'au bout de peu de jours, le garnissage en briques est complétement détruit, et alors, si la surveillance n'est pas suffisante, c'est l'enveloppe même qui sert de foyer et s'altère très-rapidement. Il est un autre moyen de s'opposer à une élévation trop considérable de la fonte dont on fait le foyer, c'est de la garnir de nervures qui augmentent la surface de chauffe et par suite le refroidissement de la fonte. Si alors la combustion n'est pas trop vive à l'intérieur du poêle, les surfaces ne rougissent pas.

1850. C'est cette disposition que MM. Geneste fils et Herscher ont employée dans un poêle calorifère auquel ils donnent le nom de thermo-conservateur et qui se trouve représenté figure 441. Il est formé d'une cloche légèrement conique où s'accumule le combustible qu'on introduit par une porte de chargement placée à l'avant et à la partie supérieure de la cloche; il y a de plus une porte qui sert à nettoyer la grille et une porte pour le cendrier; à la partie inférieure le foyer se rétrécit et se termine par une grille étroite; la porte du foyer qui est en contact avec le combustible incandescent est seule garnie de nervures; afin de diminuer encore la tendance qu'a la trémie à s'échauffer, les gaz de la combustion, au lieu de s'élever dans cette trémie et d'en élever la température, se rendent dans une série de tubes isolés placés autour de l'appareil et qui aboutissent à la cheminée placée directement au-dessus de la trémie; ces tubes, entourés par l'air qui doit s'échauffer, se refroidissent rapidement et augmentent la surface de chauffe.

Fig. 441.

L'enveloppe, dans la partie de sa hauteur qui entoure la trémie, est double et l'espace annulaire compris entre les deux enveloppes est rempli d'une substance mauvaise conductrice de la chaleur. Cette disposition empêche le rayonnement direct du poêle, qui est un véritable inconvénient et souvent une souffrance pour les personnes qui sont placés près de lui. Enfin à la partie supérieure, un vase annulaire entoure l'origine de la cheminée, et l'air qui vient de l'extérieur, après s'être réchauffé au contact du poêle, se trouve au contact de l'eau échauffée, et entraîne une certaine quantité de vapeur qui est absolument nécessaire, pour que la respiration ne soit pas gênée. Lorsqu'il fait froid en effet, l'air est presque sec et, si on le chauffe, la sensation qu'on éprouve en respirant un air sec et chaud est pénible, et cet air peut même, en desséchant outre mesure les voies respiratoires, devenir dangereux à respirer.

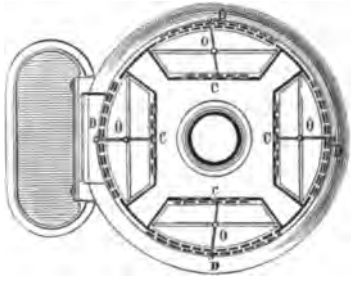


Fig. 442.

La Compagnie Générale parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz établit des calorifères à coke dont le but est de faire arriver l'air chaud, soit dans la pièce même où se trouve l'appareil, soit dans une pièce située à l'étage supérieur. L'appareil se compose (*fig.* 442) d'un foyer cylindrique en fonte muni de nervures dans toute la hauteur, d'une porte de chargement A et d'un cendrier B dont la porte est percée d'une ouverture garnie d'un registre à papillon pour régler le tirage, la fumée s'échappe directement par le tuyau supérieur E; le tout

est entouré d'une enveloppe en tôle qui se prolonge à la partie supérieure par un tuyau aussi en tôle placé autour du tuyau de fumée; c'est ce tuyau qui mène l'air chaud à l'étage supérieur; vers le haut de l'enveloppe du calorifère se trouve un diaphragme horizontal réuni à quatre boîtes C sans fond, mais fermées à la partie supérieure ; l'un des côtés de chacune de ces boîtes est formé par la paroi de l'enveloppe en tôle; ce côté et celui qui lui est opposé sont percés d'ouvertures équidistantes et percées dans le sens vertical; en face de ces ouvertures se trouve de chaque côté un registre percé d'ouvertures semblables; un même levier DO sert à manœuvrer les deux registres, et les ouvertures de chacun d'eux sont disposées de telle façon que quand l'un ferme l'un des côtés de la caisse C, l'autre au contraire laisse libres les orifices du second côté, et réciproquement. Si donc les registres sont disposés de façon que les orifices de l'enveloppe en tôle du calorifère sont ouverts, l'air amené de l'extérieur à la partie inférieure du calorifère et échauffé dans son parcours autour du foyer, pénètre directement dans la pièce où est placé l'appareil; dans le cas contraire, les orifices des côtés intérieurs des caisses C sont ouverts et l'air chaud pénètre par ces orifices dans la partie supérieure de l'enveloppe et de là dans le tuyau F qui le mène à l'étage supérieur.

Ces appareils brûlent du coke, nous les avons indiqués surtout à cause du but spécial auquel ils sont destinés à satisfaire.

1851. Il est un point intéressant relatif à la combustion dans les appareils de ce genre et qui a été traité par MM. Geneste et Herscher, c'est la détermination de l'épaisseur de la couche de combustible en ignition qui doit se trouver sur la grille pour que la combustion soit complète. Ces ingénieurs ont expérimenté sur des couches de combustible variant depuis $0^m,10$ jusqu'à $0^m,90$ et en employant un tirage variable au moyen de cheminées dont la hauteur variait de 3 mètres à 50 mètres. L'analyse des gaz de la combustion leur permettait de reconnaître les conditions dans lesquelles elle s'accomplissait.

Ils ont reconnu, ce qui était d'ailleurs facile à prévoir, que la hauteur de combustible qui répond à une combustion parfaite, dépend surtout du tirage dans la cheminée ; ainsi avec une couche de $0^m,15$ d'épaisseur et une cheminée de 3 mètres de hauteur, il se produisait de l'oxyde de carbone, tandis qu'avec une couche de $0^m,90$ et une cheminée de 50 mètres, il n'y avait plus d'oxyde de carbone et il y avait excès d'air. On conçoit d'après cela qu'il est à peu près impossible d'établir un calorifère de type déterminé de façon à ce

qu'il puisse satisfaire à toutes les conditions de tirage dans lesquelles il pourra se trouver placé ; le mieux sera de le disposer pour un faible tirage et de ne pas dépasser une épaisseur de $0^m,15$ à $0^m,20$ pour la couche en ignition, le tirage pouvant toujours être réduit facilement.

1852. M. Morin a fait une série d'expériences sur les poêles et les poêles calorifères que nous résumons dans le tableau suivant :

NATURE DU POÊLE.	RENDEMENT calorifique.	DIFFÉRENCE de température obtenue.	SURFACE de chauffe pour 1000^{mc} d'air.	RENOUVELLEMENT de l'air en une heure.
En faïence, chauffé au bois	0,869	7°,5	$5^{mq},55$	0,1
En tôle, chauffé à la houille	0,90	17°,0	$1^{mq},90$	0,8
En fonte (Gurney)	0,901	12°,0	$13^{mq},2$	0,1
— (René Duvoir)	0,856	10°,0	$3^{mq},32$	0,2
— à flamme renversée	0,94	11°,0	$3^{mq},72$	0,2
En fonte, à flamme renversée avec ventilation	0,845	11°,0	$5^{mq},37$	1,0
En terre réfractaire (Müller)	0,933	13°,0	$15^{mq},7$	0,25

On voit que le rendement calorifique des poêles est sensiblement le même, quel qu'en soit la substance ou le système ; il s'abaisse naturellement quand il y a ventilation, puisqu'on ne compte pas comme chaleur utilisée celle de l'air expulsé ; dans un certain nombre d'expériences comparatives faites avec la houille et le coke, le rendement s'est trouvé plus élevé pour la houille que pour le coke ; dans ce dernier cas la quantité de chaleur emportée par les produits de la combustion est plus grande.

M. Morin fait remarquer un inconvénient très-grave du chauffage par les poêles, c'est l'inégalité de température qui se manifeste aux différents points d'une même pièce. Il s'est manifesté dans certaines expériences une différence de 14° entre la température à fleur du plancher et celle du sommet de la pièce à 3 mètres du sol ; dans le cas du poêle calorifère à ventilation, malgré le renouvellement plus actif de l'air, cette différence a été jusqu'à 8° environ.

CHAPITRE II

Calorifères placés loin des lieux qui doivent être échauffés.

1853. Les calorifères de ce genre sont toujours composés d'une chambre en maçonnerie renfermant un foyer et des tuyaux ordinairement en fonte, qui sont parcourus successivement ou simultanément par l'air qui s'échauffe ou la fumée qui se refroidit. Ces appareils ont été disposés d'un grand nombre de manières différentes; avant de décrire les principaux, j'indiquerai quelques principes généraux qui serviront à les apprécier.

1854. D'abord il est évident que tous les calorifères peuvent produire le même effet utile, quand la combustion a lieu dans les conditions ordinaires et que les surfaces de transmission de la chaleur sont assez étendues pour refroidir la fumée à la même température. Mais les surfaces de chauffe peuvent être plus ou moins bien utilisées, et il convient aussi de considérer la commodité du nettoyage, la facilité à rendre les joints étanches, l'espace occupé, les conditions de durée et le prix.

1855. L'air ne s'échauffe que par contact avec les corps chauds et par une transmission de la chaleur de proche en proche, transmission que j'ai appelée la *diffusion* de la chaleur: les rayons de chaleur le traversent sans l'échauffer. Il résulte de là une grande différence entre les effets produits par un tuyau échauffé, suivant qu'il est parcouru par la fumée ou par l'air à échauffer. Dans le premier cas, la chaleur rayonnée par la surface du tuyau échauffe la surface intérieure de l'enceinte, et l'air s'échauffe en passant sur les deux surfaces; l'effet produit varie peu avec l'étendue de l'enceinte, parce que la quantité de chaleur qu'elle reçoit est constante, et par conséquent elle s'échauffe d'autant plus qu'elle a moins d'étendue. Dans le second cas, les rayons de chaleur qui traversent le tuyau parcouru par l'air sont perdus pour son échauffement. Ainsi les surfaces de chauffe extérieures sont plus efficaces que les surfaces intérieures, à peu près dans le rapport de 2 à 1. Mais on peut augmenter l'échauffement de l'air qui parcourt les tuyaux, en y plaçant des feuilles de tôle diversement contournées qui s'échauffent par rayonnement et transmettent à l'air, par le contact, la chaleur qu'elles ont reçue.

1856. Les mouvements de l'air pur et de l'air brûlé peuvent avoir lieu dans le même sens, en sens contraire, ou enfin dans des directions quelconques. Quand les mouvements ont lieu dans le même sens, la transmission de la chaleur s'arrête évidemment lorsque les deux gaz ont pris la même température ; si les deux courants avaient la même section et la même vitesse, la température commune serait à peu près la moitié de celle de l'air brûlé ; mais comme le volume de l'air pur est toujours beaucoup plus considérable que celui de l'air brûlé, celui-ci peut être amené à une assez basse température. Supposons, par exemple, que l'air doive être échauffé à 100° ; comme l'air brûlé provenant de la combustion de la houille est à peu près à 1200°, on voit que, si toute la chaleur produite était employée à échauffer l'air, le volume d'air neuf chauffé à 100° pourrait être égal à 11 fois celui de l'air brûlé, et que ce dernier gaz pourrait être amené à 100°. Le refroidissement de l'air brûlé serait encore plus considérable si l'air devait être moins échauffé. Mais la direction opposée du mouvement des deux gaz devient nécessaire, quand l'air doit être porté à une haute température ; il est évident que, si les poids des gaz étaient les mêmes, il pourrait y avoir sensiblement échange de température, et que si le poids de l'air était 2, 3, 4 fois plus considérable que celui de la fumée, le refroidissement complet de l'air brûlé porterait la température de l'air pur à 600°, 400°, 300°. Enfin quand les deux courants sont perpendiculaires, et que l'air froid passe simultanément dans des tuyaux placés en travers du courant d'air brûlé, la transmission de la chaleur est la plus grande qu'on puisse obtenir, parce que toutes les parties du courant d'air brûlé sont rencontrées simultanément par de l'air froid, du moins à travers le métal des tuyaux ; et avec la même étendue de surface de chauffe, on peut refroidir l'air brûlé à une plus basse température que par toute autre disposition. Mais cette méthode ne peut être employée que lorsqu'il s'agit de chauffer un très-grand volume d'air à une température peu élevée. Les tubes traversés par l'air peuvent être verticaux, horizontaux ou plus ou moins inclinés ; ces circonstances n'ont d'influence que sur le tirage de l'air échauffé, pour lequel la disposition verticale est évidemment la plus favorable. Si les tuyaux parallèles étaient parcourus simultanément par l'air brûlé, et si l'air à échauffer s'écoulait perpendiculairement, les circonstances seraient à peu près les mêmes relativement à la transmission de la chaleur ; mais cette disposition est rarement employée.

1857. D'après ce que nous avons dit (551), on ne doit jamais diviser l'air pur ou l'air brûlé en plusieurs veines dans le mouvement ascendant, parce que le gaz suit toujours de préférence celui qui présente le moins de résistance ; et quand tout semble d'ailleurs disposé d'une manière parfaitement symétrique, les plus légères différences déterminent le mouvement dans un sens ou dans l'autre. Le courant ne se répartirait à peu près également qu'autant que la section totale des tuyaux resterait constante. Si le premier tuyau et ceux qui viennent après avaient la même section, on pourrait obtenir un partage du courant par des registres convenablement ouverts. Mais lorsque le mouvement a lieu de haut en bas, le partage du courant se fait uniformément dans tous les tuyaux (553), en supposant toutefois que chacun d'eux présente la même résistance (555) ; et c'est ce qui arrive, quand ils ont la même section et la même longueur.

1858. Dans les calorifères, il y a toujours deux espèces de tirage, celui de l'air brûlé qui provient de la cheminée, et celui de l'air pur qui provient de la colonne d'air chaud, depuis l'entrée de l'air dans le calorifère jusqu'à l'orifice d'écoulement dans l'atmosphère. Ces deux tirages se manifestent dans tous les joints des tuyaux, et si ceux-ci ne sont pas étanches, de l'air pur passe dans l'air brûlé quand le tirage de la cheminée l'emporte sur celui de l'air pur, et de l'air brûlé passe dans l'air pur quand le tirage de l'air est plus grand que celui de la cheminée. Il semblerait, d'après cela, que les joints devraient être forcément étanches ; mais on se contente presque constamment de joints en terre à four, qui laissent de petites fissures capillaires ; il n'en résulte pas un grand inconvénient, parce que le tirage de la cheminée étant ordinairement beaucoup plus grand que celui de l'air pur, il y a seulement un peu d'air pur qui passe dans l'air brûlé. Mais si l'air brûlé était ramené à une basse température, et si le tirage de l'air pur était très-grand, une certaine quantité d'air brûlé pourrait passer dans l'air pur ; il faudrait alors avoir recours aux joints faits avec du mastic de fonte, et dont nous parlerons quand il sera question des calorifères à vapeur. Dans tous les cas, il est important que les joints soient peu nombreux et faits avec soin, et il ne faut pas employer de trop grandes surfaces de chauffe, parce que si la consommation de combustible était très-faible, l'air brûlé serait amené à une basse température, le tirage deviendrait très-faible et pourrait être inférieur à celui de l'air de ventilation.

1859. Une circonstance qu'il est très-important d'éviter dans la construction des calorifères, c'est de mettre l'air en contact avec

des surfaces métalliques chauffées au rouge, parce qu'alors l'air acquiert une mauvaise odeur, provenant de la combustion des matières organiques qu'il tient en suspension. L'air, en effet, quelque transparent qu'il paraisse, retient en suspension une grande quantité de poussières impalpables qui se déposent lentement quand il est en repos ; on les aperçoit d'une manière très-nette en faisant pénétrer un rayon solaire dans une chambre obscure. Ces poussières sont de nature différente suivant les localités, mais il n'est pas douteux qu'une partie ne soit organique. Cependant, quand l'étendue des surfaces incandescentes est très-petite relativement à celle des surfaces de chauffe, il n'y a que peu d'air altéré, et l'odeur devient insensible.

Le contact de l'air à chauffer avec les surfaces métalliques rougies présente un autre inconvénient grave dont nous avons déjà parlé. C'est la production d'une certaine quantité d'oxyde de carbone provenant probablement de la décomposition de l'acide carbonique de l'air par le métal rougi. M. Morin a fait à cet égard des expériences avec l'aide de M. Urbain, ancien élève de l'École centrale ; la présence de l'oxyde de carbone dans l'air a été déterminée dans l'air par deux moyens différents : le premier consistait à placer des lapins dans l'air en expérience et à faire l'analyse du gaz du sang de ces animaux après un certain temps de séjour ; le second consiste à faire traverser par l'air une dissolution de sous-chlorure de cuivre qui absorbe l'oxyde de carbone.

De l'ensemble de ces expériences, il résulte que dans une salle chauffée à l'air d'un poêle soit en fonte, soit en tôle, il y a production d'oxyde de carbone; que cette proportion est plus considérable pour les poêles en fonte que pour les poêles en tôle et qu'enfin elle augmente encore lorsque le poêle est enduit de plombagine.

Voici les nombres trouvés :

	Proportion d'oxyde de carbone dans l'air.
Poêle en fonte (modèle des casernes).....	0,0014
Le même enduit de plombagine.....	0,0017
Poêle en tôle emboutie.....	0,00041
Le même enduit de plombagine.....	0,00122

Il y a tout lieu de supposer, d'après ces nombres, que c'est surtout l'influence du carbone, soit de la fonte, soit de la plombagine, qui détermine la décomposition de l'acide carbonique de l'air et fournit l'oxyde de carbone.

L'oxyde de carbone qui se développe ainsi par l'action de la fonte rougie, sans être une cause de danger immédiat pour la vie des personnes qui respirent l'air dans lequel il se produit, n'en exerce pas moins une action fâcheuse ; il en résulte un état de gêne, de lourdeur qui, lorsqu'il se prolonge, ne peut manquer d'avoir un effet pernicieux. Il y a donc lieu de proscrire les surfaces de fonte pour toute partie du calorifère qui doit rougir, lorsque l'air chauffé devra servir à la respiration.

1860. Lorsque l'air s'échauffe, la quantité de vapeur qu'il peut absorber augmente, et par conséquent son état hygrométrique s'abaisse, et quoiqu'il renferme toujours, sous le même poids, la même quantité d'eau, il se dessèche réellement. Cette circonstance peut avoir des effets fâcheux en provoquant un excès de transpiration. En conséquence, il est toujours utile de placer dans le calorifère un vase plein d'eau, destiné à mêler à l'air chaud une certaine quantité de vapeur qui devrait être telle que, dans les lieux habités, l'air à peu près à 15° fût à moitié saturé. On pourrait satisfaire à cette condition au moyen d'un vase placé en dehors du calorifère, renfermant de l'eau à une hauteur constante, disposé comme le vase de Mariotte, garni d'un tube à robinet, par lequel l'eau tomberait d'une manière continue sur une surface métallique chauffée, se réduirait en vapeur et serait entraînée par le courant d'air ; l'ouverture du robinet pourrait être réglée par l'observation d'un hygromètre placé dans les salles ventilées.

1861. Les surfaces de chauffe des calorifères transmettent moins de chaleur que les tuyaux à air brûlé des appareils placés dans les pièces qui doivent être échauffées, et dont nous avons parlé d'abord, parce que la différence des températures de l'air brûlé et de l'air pur est plus petite ; il faut compter sur $1^{mq},5$ à 2^{mq} de surface de chauffe directe par kilogramme de houille à brûler par heure. Je répéterai à cette occasion qu'une variation même assez considérable dans l'étendue de la surface a peu d'influence sur l'effet utile, parce qu'elle se porte toujours sur les surfaces extrêmes qui transmettent moins de chaleur. Il est important de remarquer que pour les calorifères employés au chauffage des habitations, la consommation de combustible étant très-variable, si on calculait les dimensions pour le maximum de consommation, il y aurait un excès de surface de chauffe pendant une grande partie du temps du chauffage, et le tirage de la cheminée pourrait être trop faible ; pour ce cas, il vaut mieux prendre la surface de chauffe pour la consommation moyenne,

ce qui revient à prendre 1^{mq} de surface de chauffe pour la consommation maximum.

1862. Quoique l'on puisse refroidir l'air brûlé à une assez basse température, en conservant cependant un bon tirage, il n'est pas à supposer que les calorifères placés en dehors des pièces qu'ils doivent échauffer, produisent un effet utile dépassant 0,60 à 0,70, à cause de la chaleur perdue par la cheminée, par l'enveloppe du calorifère, par l'excès d'air qu'on doit laisser passer à travers la grille pour éviter de chauffer trop fortement les surfaces environnantes, et encore par l'air depuis la sortie du calorifère, car dans le trajet aux pièces à chauffer la perte peut varier dans des limites très-étendues.

1863. Les grilles doivent être très-grandes, afin d'avoir des foyers languissants, il faudrait compter sur moins de $0^{k},5$ de houille par décimètre carré et par heure.

1864. La section de la cheminée et celle des conduits à air brûlé ne peuvent pas être calculées d'après les nombres indiqués pour les générateurs, parce que l'air brûlé est abandonné en général à une plus faible température; en supposant que l'excès moyen de température soit de 50°, comme l'air brûlé dans les cheminées des générateurs est à peu près à 300°, et que pour ces excès de température, le tirage varie dans le rapport de 39 à 71, les sections des cheminées des calorifères devront être égales à celles des générateurs consommant la même quantité de combustible, multipliées par 71 : 39 = 1,82. Ainsi pour des cheminées de 10^{m}, 20^{m}, 30^{m}, les poids de houille brûlée par décimètre carré, seront de $1^{k},87$; $2^{k},58$; $3^{k},02$. Avec ces nombres on aura certainement un grand excès de tirage, mais on pourra toujours le détruire par un registre ; et il sera très-faible, quand la consommation de combustible sera très-petite, à cause du grand excès de surface de chauffe qui produira un grand refroidissement.

1865. On pourrait faire une notable économie dans les frais d'établissement en employant des tuyaux en terre cuite, d'une petite épaisseur ; mais les surfaces de chauffe devraient avoir plus d'étendue ; la terre cuite étant toujours perméable, il y aurait beaucoup d'air chaud qui passerait dans la fumée ; et, en outre, la rupture d'un tuyau pourrait occasionner de graves inconvénients.

Je vais examiner successivement les différentes dispositions de calorifères.

1866. *Les calorifères dans lesquels les tuyaux sont parcourus par l'air.* — La figure 443 représente un appareil de ce genre. A, foyer ;

B,B.., tuyaux de fonte ouverts par les deux bouts, maintenus en dessus et en dessous par des plaques de fonte percées d'orifices, dont les bords s'appuient contre les renflements extérieurs des tuyaux; D, espace libre situé au-dessous des tuyaux et communiquant avec l'air extérieur; FF, réservoir d'air chaud; G, tuyau d'écoulement de l'air chaud; H, porte du foyer ; I, porte du cendrier ; L, cheminée. Dans cette disposition les cylindres de fonte se touchent, et forment des rangées que l'air brûlé parcourt successivement; par conséquent on a enlevé dans une partie du contour les rebords qui terminent les tubes ; on aurait pu laisser les rebords entiers, en remplissant avec de l'argile les intervalles des cylindres; on aurait pu également laisser ces espaces libres, de manière à obliger l'air brûlé à passer autour de chacun d'eux. Des regards ont été ménagés pour nettoyer les carneaux formés par les rangées de tuyaux. Cet appareil a le grand inconvénient d'avoir beaucoup de joints, car il y en a deux pour chaque tuyau. On augmenterait beaucoup la quantité de chaleur transmise à l'air, si les cylindres de fonte étaient garnis d'appendices intérieurs comme l'indique la figure 444; ces

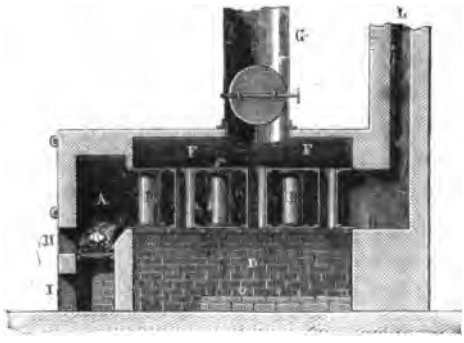


Fig. 443.

Fig. 444.

Fig. 445.

Fig. 446.

Fig. 447.

appendices devraient être courts et placés de manière à contrarier les mouvements de l'air chaud. On pourrait produire le même effet, en plaçant dans chaque cylindre un autre cylindre en tôle d'un plus petit diamètre (*fig.* 445) qui s'échaufferait par le rayonnement et transmettrait sa chaleur à l'air; une feuille de tôle, placée comme l'indiquent les figures 446 et 447, serait préférable, parce qu'elle recevrait une plus grande partie de la chaleur rayonnée par la surface extérieure du cylindre.

1867. On pourrait rendre les joints presque étanches, par la disposition indiquée figure 448; ABA'B' est un tuyau cylindrique qui pénètre librement dans une ouverture percée dans la plaque de fonte CC'; cette plaque porte un petit cylindre DED'E', fixé à sa partie inférieure et qui environne le cylindre AB A'B'; on introduit d'abord entre les deux cylindres de la terre délayée dans un peu d'eau, de manière à former le joint, et on remplit le reste de l'intervalle des deux cylindres avec du sable très-fin. Le cylindre enveloppant pourrait être venu de fonte avec sa plaque CC'.

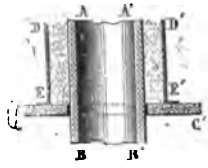


Fig. 448.

1868. La figure 449 représente une coupe transversale d'un appareil disposé d'une autre manière. Il est composé d'un certain nombre de tuyaux de fonte, ayant la forme d'un Y renversé, placés verticalement les uns à côté des autres. L'air brûlé sorti du foyer parcourt le carneau inférieur, revient en avant dans le carneau B, et retourne par le carneau C qui le conduit à la cheminée; les canaux N, N amènent l'air qui doit être échauffé; M est la chambre à air chaud. Cet appareil est préférable au précédent, parce qu'il renferme beaucoup moins de joints, et que ces joints, étant formés par une épaisseur de maçonnerie très-considérable, offrent peu de jours, malgré les mouvements qui résultent de la dilatation; mais la fumée est nécessairement abandonnée à une température assez élevée. On pourrait fixer à la partie verticale des tuyaux, d'autres tuyaux disposés comme l'indiquent les lignes ponctuées de la figure, et qui formeraient le plafond des carneaux supérieurs; les joints de ces tuyaux pourraient être en mastic de fonte. Il serait très-avantageux d'employer des tuyaux de fonte garnis d'appendices intérieurs (*fig.* 444), ou d'employer les moyens indiqués dans les figures 445, 446 et 447. Mais cette disposition a le grand inconvénient de faire rougir les tuyaux qui se trouvent au-dessus du foyer.

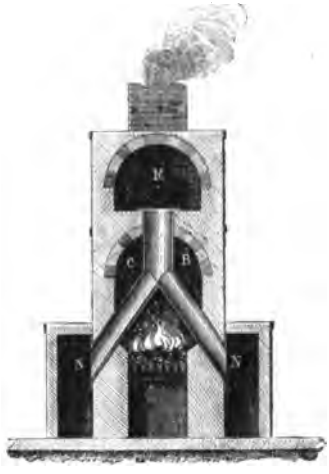


Fig. 449.

1869. La figure 450 représente un autre appareil : le foyer est

dans une chambre en maçonnerie; l'air brûlé s'échappe par des orifices percés dans la voûte qui ferme le foyer à la partie supérieure, et ne rencontre les tuyaux qu'après avoir perdu une partie de sa chaleur; de plus les tuyaux sont soustraits au rayonnement du foyer; d'un côté, ils s'ouvrent dans une caisse communiquant avec l'air extérieur et de l'autre dans la chambre à air chaud.

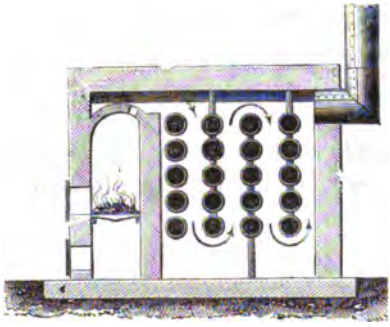


Fig. 450.

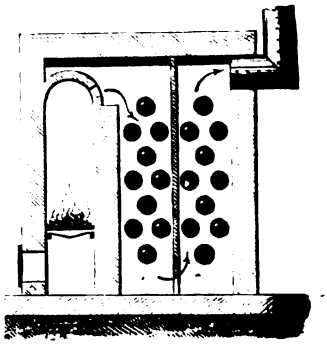


Fig. 451.

1870. La disposition représentée par la figure 451 est plus simple; l'air brûlé en descendant se répartit uniformément entre les tuyaux, et il doit en être de même dans le canal ascendant.

1871. L'agencement de tuyaux indiqué dans les figures 452 et 453 et imaginé par M. Léon Talabot est bien plus simple encore : l'air

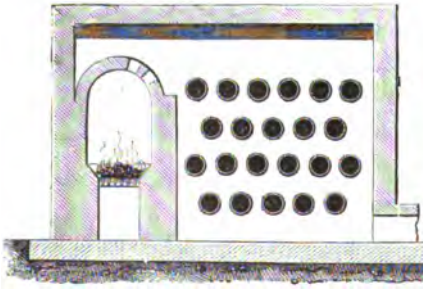


Fig. 452.

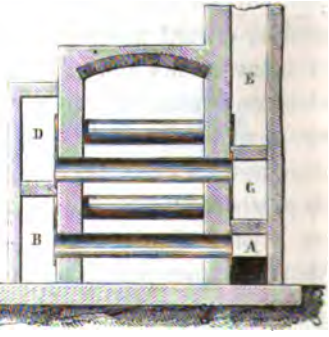


Fig. 453.

brûlé, en descendant dans la chambre, se répand uniformément autour de tous les tuyaux; la température diminue uniformément à mesure qu'il descend et les tuyaux d'une même rangée horizontale sont également chauffés. Cette disposition permet d'échauffer l'air

beaucoup plus que celles dont nous avons déjà parlé, en le faisant passer successivement par les différentes rangées de tuyaux de bas en haut, comme l'indique la figure 399 : l'air extérieur arrive en A, et passe successivement dans les caisses en maçonnerie B,C,D et dans le tuyau d'écoulement de l'air chaud E.

1872. Dans les calorifères, qui avaient été établis, par M. Talabot, pour le chauffage des anciennes chambres des pairs et des députés, le nombre des tuyaux était de 36 ; leur longueur de $1^m,50$, mais 50 centimètres étaient engagés dans la maçonnerie ; ils avaient $0^m,20$ de diamètre extérieur et $0^m,01$ d'épaisseur. La grille avait 1 mètre sur $0^m,30$; la distance de la voûte à la grille était de $0^m,60$. La hauteur de la chambre aux tuyaux était de $1^m,80$; sa longueur, en y comprenant le foyer, de $2^m,70$; sa profondeur de 1 mètre. L'enveloppe de maçonnerie était

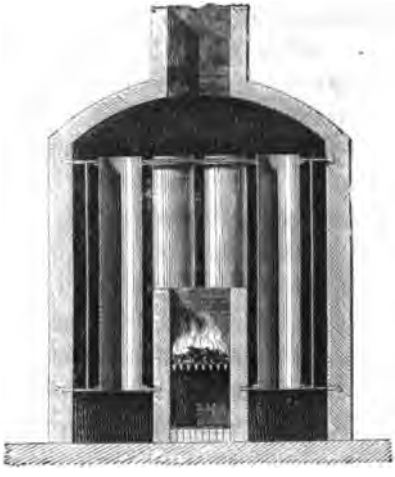


Fig. 454.

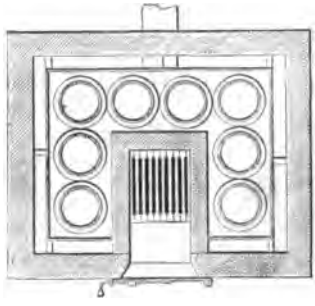


Fig. 455.

garnie d'un grand nombre d'armatures destinées à s'opposer à sa déformation ; il y avait quatre tirants extérieurs maintenus par des clavettes, et deux tiges verticales maintenues par d'autres tiges horizontales passant à travers les tuyaux. La surface de chauffe totale, en comptant celle qui était engagée dans la maçonnerie, était à peu près de 14^{mq} ; on pouvait brûler 10 kilogrammes de houille par heure dans le foyer. L'air sortait ordinairement des calorifères à une température peu élevée ; le tirage était très-bon, car l'air extérieur s'introduisait avec une grande vitesse à travers les fissures de la maçonnerie ; ainsi on ne pouvait pas craindre que la fumée pût pénétrer dans l'air chaud.

Ces appareils, qui sont d'une construction très-simple, produiraient un plus grand effet utile, si les tuyaux de chauffage renfermaient des plaques de tôle disposées comme dans les figures 445, 446 et 447. Il est indispensable de ménager dans les bouts des calorifères des regards qui permettent de nettoyer de temps en temps la surface extérieure des tuyaux.

1873. Les figures 454 et 455 représentent une coupe verticale et une coupe horizontale d'un calorifère dont les tuyaux sont parcourus par l'air et placés verticalement. L'appareil se compose d'une caisse de fonte rectangulaire, renfermant un foyer environné de maçonnerie sur les côtés ; autour se trouvent des tuyaux de fonte ouverts par les deux bouts ; la caisse est en communication, par la partie inférieure, avec la cheminée, et elle est placée dans une enveloppe en maçonnerie qui communique par le bas avec l'air extérieur, et par le haut avec le tuyau d'écoulement de l'air chaud.

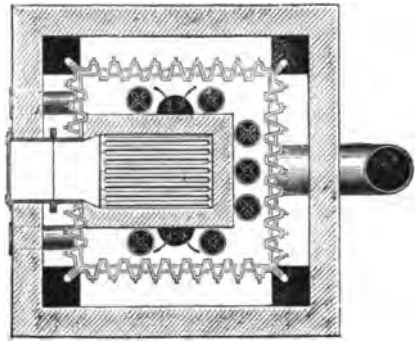


Fig 456.

1874. M. L. F. Staib, de Genève, a présenté à l'Exposition universelle de 1855 un calorifère disposé à peu près de la même manière, et dont la figure 456 représente une coupe horizontale; les parois de la caisse sont ondulées, afin d'augmenter l'étendue des surfaces de chauffe. On a ménagé des regards pour le nettoyage des tuyaux. L'appareil renferme un vase plein d'eau destiné à maintenir l'état hygrométrique de l'air, et un petit foyer additionnel pour établir le tirage au commencement du chauffage, si cela est nécessaire. L'appareil exposé était construitavec beaucoup de soin et avait été parfaitement étudié, jusque dans ses moindres détails.

1875. On a aussi employé des rangées horizontales de tuyaux, placées au-dessus du foyer et disposées de manière que l'air brûlé fût obligé de les parcourir successivement ; mais, par cette disposition, les premières rangées s'échauffaient au rouge, et l'air prenait une mauvaise odeur. Les rangées de tuyaux ont aussi été placées verticalement : la première formait une des parois du foyer, et l'air brûlé parcourait successivement toutes les rangées, comme dans la figure 453 ; mais cette disposition avait le même inconvénient que

la précédente. On a aussi remplacé les rangées de tuyaux par des caisses de tôle ou de fonte, rectangulaires, ouvertes par deux bouts opposés, placées de manière à être parcourues par l'air tantôt horizontalement, tantôt verticalement, l'air brûlé faisant le tour des caisses dans des directions perpendiculaires à celles de l'air pur.

1876. *Calorifères dans lesquels l'air brûlé parcourt les tuyaux de chauffage.* — Tous ces appareils consistent en une chambre en maçonnerie renfermant un foyer recouvert par une cloche en fonte, d'où la fumée s'écoule par un tuyau diversement contourné; la partie inférieure de la chambre communique avec l'air extérieur et la partie supérieure avec un canal destiné à l'écoulement de l'air chaud. On a construit des appareils dans lesquels le tuyau à fumée en partant de la cloche s'élevait d'abord verticalement jusqu'au sommet de la chambre, descendait ensuite, puis remontait un certain nombre de fois autour du foyer; cette disposition ne peut être employée, pour les combustibles qui produisent de la fumée, qu'en se réservant des moyens de nettoyage.

1877. On a aussi construit des appareils composés de tuyaux horizontaux que la fumée parcourait successivement en commençant par le bas; chacun de ces tuyaux traversait les murs opposés de la chambre , était fermé par des tampons, ce qui permettait de les nettoyer facilement, et, de plus, communiquait avec le prccédent par un bout et avec le suivant par l'autre bout. Cette disposition avait l'inconvénient de rendre difficile la mise en feu du foyer, à cause du refroidissement rapide de l'air brûlé, et de faire marcher dans le même sens l'air pur et l'air brûlé.

1878. On a aussi fait circuler l'air brûlé sortant de la cloche dans une série de tuyaux formant différents étages de rectangles que l'air brûlé parcourait successivement. Pour cela, chaque rectangle était fermé par une cloison; d'un côté se trouvait l'orifice d'accès de l'air brûlé du cadre inférieur, et de l'autre l'orifice de sortie. Chaque tuyau se prolongeait à travers la maçonnerie, comme dans l'appareil précédent, afin d'en permettre le nettoyage. Cet arrangement avait les mêmes inconvénients.

1879. On a modifié cette dernière méthode en faisant sortir l'air de la cloche par deux ou par quatre orifices, qui communiquaient chacun avec une série de tuyaux disposés comme dans l'appareil décrit (1877). Cette disposition, qui a été souvent employée et qui a été présentée à l'Exposition universelle de 1855 par plusieurs constructeurs, offre les inconvénients déjà signalés, et de plus celui

d'offrir à l'air brûlé plusieurs chemins entre lesquels il ne se partage pas nécessairement, malgré la symétrie apparente, comme cela résulte de l'expérience; aussi une grande partie de la surface de chauffe peut-elle être perdue.

1880. Les figures 457 et 458 représentent une coupe verticale et une coupe horizontale d'une disposition qui n'a pas les inconvénients que nous venons d'indiquer. L'air brûlé, parvenu au sommet du tuyau placé au-dessus de la caisse du foyer, descend en parcourant successivement une série de tuyaux horizontaux. L'air brûté et l'air pur

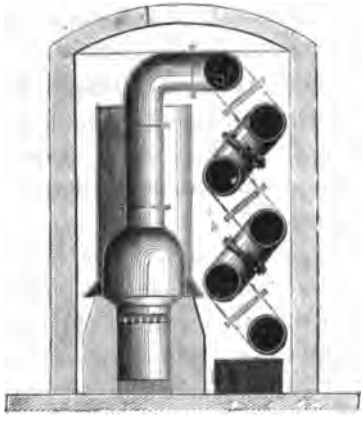


Fig. 457.

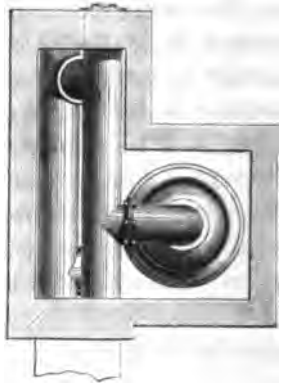


Fig. 458.

marchent ainsi en sens contraire. Les joints peuvent facilement être rendus à peu près étanches: et le nettoyage des tuyaux n'offre aucune difficulté, si l'on a eu soin de ménager des tampons aux extrémités. Cet appareil permettrait de chauffer l'air à une température élevée. On pourrait faire descendre la fumée par plusieurs systèmes de tuyaux, elle se répartirait nécessairement dans chacun d'eux, si les sections étaient convenables.

1881. M. Réné Duvoir construit des calorifères, fondés sur le même principe que le dernier dont nous venons de parler. Les figures 459 et 460 représentent une coupe verticale et une coupe horizontale d'un de ces appareils. Le foyer *f* est placé dans un cylindre de fonte A, revêtu intérieurement de briques réfractaires *a*, *a*, jusqu'à une certaine hauteur; l'air brûlé descend simultanément par les deux rangées de tuyaux B, C, D, E, F, et B', C', D', E', F', s'élève ensuite dans le cylindre G, d'où il passe dans la cheminée. L'air qui

doit être chauffé arrive par les canaux souterrains I, I', s'élève simultanément dans les intervalles MM et NN autour des cylindres A, G, et des deux rangées de tuyaux, et se réunit dans la capacité K, d'où il est conduit dans les lieux où il doit être utilisé. Tous les cylindres sont en fonte. Le foyer a deux portes : l'une, celle qui est

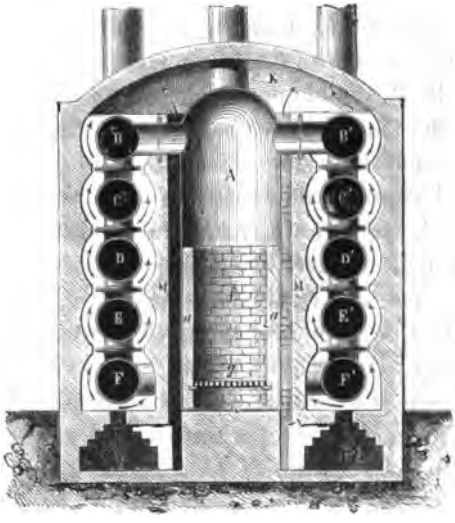


Fig. 459.

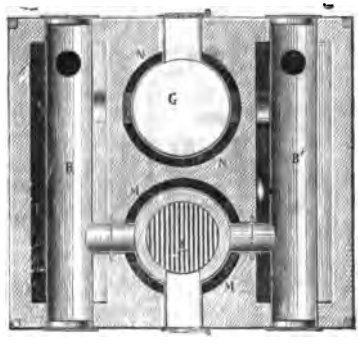


Fig. 460.

inférieure, est destinée au nettoyage de la grille *g*, l'autre, à l'introduction du combustible. L'anthracite brûle très-bien dans cet appareil, et on en peut charger le foyer pour 7 à 8 heures.

1882. Lorsqu'on allume le feu pour la première fois, le tirage est très-faible, parce que la chaleur est absorbée, presque à mesure qu'elle se produit, par la masse de fonte qui environne le foyer, et la mise en train exige que l'on chauffe d'abord la cheminée. Pour cela il y a dans le cylindre G un petit foyer additionnel qu'on n'allume que lorsque l'appareil a été pendant plusieurs jours sans fonctionner et qu'il est complétement froid. On a remarqué que, dans ce calorifère, les houilles grasses se distillent en grande partie, à cause de la haute température de l'enveloppe du foyer, et du faible tirage qui résulte du grand refroidissement qu'éprouve la fumée. Les houilles sèches et les anthracites sont les combustibles qui conviennent le mieux dans cet appareil, comme dans la plupart des autres calorifères.

1883. Dezarnod a imaginé, il y a bien longtemps, une disposition, qui avec certaines modifications est employée par un grand

nombre de constructeurs. Elle est représentée en coupe verticale dans la figure 461. Tout l'appareil est en fonte, excepté les deux surfaces enveloppantes qui sont en tôle. A, foyer; B, lanterne dans laquelle se rend d'abord l'air brûlé; C, C, tuyaux par lesquels l'air brûlé descend simultanément dans une couronne annulaire située à la hauteur de la grille ; D, D, tuyaux par lesquels la fumée s'élève dans la lanterne E, d'où elle se rend dans la cheminée ; G, tuyau de dégagement de l'air chaud ; H, H, double enveloppe dans laquelle circule de l'air qui s'empare de la chaleur absorbée par l'enveloppe intérieure. Cet appareil a l'avantage de renfermer une grande étendue de surface de chauffe bien disposée dans un petit espace, et de ne pas diminuer le tirage par des circulations trop longues. Mais il faut le démonter complétement pour le nettoyer ; et, par conséquent, il serait bien incommode d'y brûler d'autre combustible que du coke. En outre, il renferme bien des joints qui ne peuvent se fermer qu'avec de l'argile, et qui, par conséquent, doivent laisser passer de la fumée dans l'air chaud, quand, le tirage de la cheminée étant très-faible, celui de la colonne d'air chaud est très-grand, comme nous l'avons déjà dit en parlant de plusieurs autres appareils. Enfin, la prise d'air du foyer n'étant pas distincte de celle du calorifère, il peut en résulter quelquefois des inconvénients, surtout quand on allume le feu.

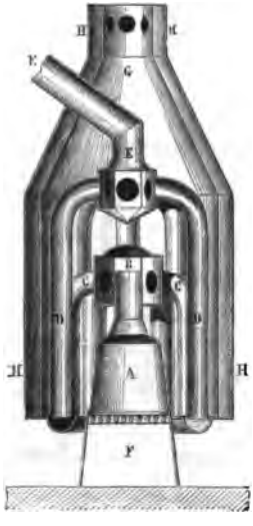


Fig. 461.

1884. M. Chaussenot a présenté à l'Exposition universelle de 1855 un calorifère dont les figures 462 et 463 représentent une coupe verticale et une coupe horizontale suivant XY. Cet appareil se compose d'un foyer A, et de deux caisses en fonte B et C, réunies par un très-grand nombre de tuyaux verticaux *a*, *a*,... ; l'air brûlé passe du foyer dans la caisse B, descend ensuite par les tuyaux *a*, *a*,.·. dans la caisse C, d'où il s'écoule dans la cheminée par le tuyau E. L'air extérieur entre dans l'enveloppe par des orifices nombreux *b*, *b*... pratiqués dans la base de l'enceinte en briques, s'échauffe autour des caisses en fonte et des tuyaux et s'échappe par le tuyau D. Les conduits H et I servent à charger le foyer et à nettoyer le cendrier; les ouvertures K et G sont destinées au nettoyage des caisses en fonte

et des tuyaux. Cette disposition laisse beaucoup à désirer. D'abord l'appareil doit être assez cher, car il renferme une masse énorme de fonte ; de plus la surface de chauffe est assez mal utilisée, puisque l'air chaud monte principalement autour de l'appareil et que l'on ne profite que d'une très-petite partie du rayonnement et du contact des tuyaux.

Le calorifère Chaussenot a été plus ou moins modifié depuis par différents constructeurs, et c'est sur le même principe que sont établis les calorifères de cave en fonte de MM. Gaillard-Haillot et Du Roselle, qui ne diffèrent d'ailleurs les uns des autres que par des détails de peu d'importance. MM. Giraudeau et Jalibert, anciens élèves de l'École centrale, construisent aussi un calorifère du type Chaussenot dans lequel la cloche est garnie de nervures ; elle est surmontée d'une boule dite de coup de feu d'où la fumée passe dans un premier réservoir annulaire, puis dans un second d'où elle redescend par des tuyaux verticaux placés latéralement dans un réservoir inférieur qui le conduit à la cheminée.

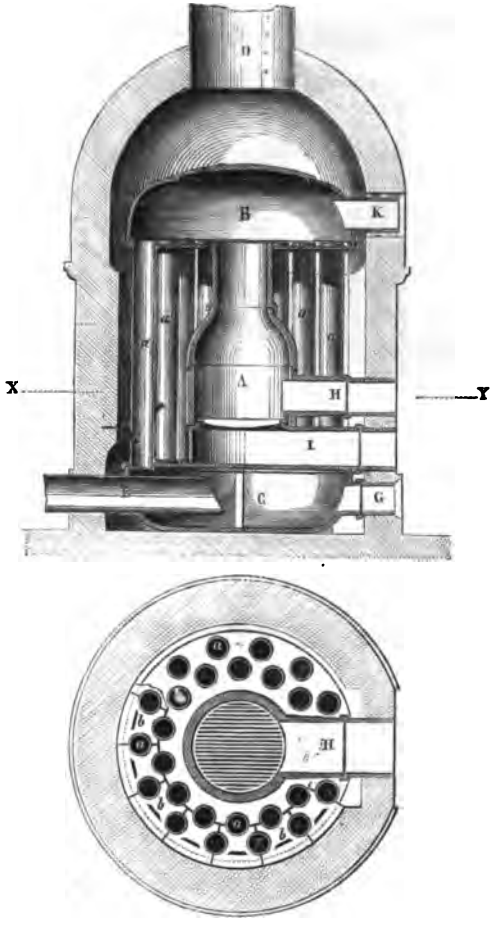


Fig. 462 et 463.

Ce qui a été dit pour les calorifères Chaussenot subsiste pour ces appareils ; de plus la masse considérable de fonte, arrangée suivant un système plus ou moins compliqué de tuyaux, de couronnes, est sujette à la dislocation et au fendillement ; les réparations doivent y

être plus fréquentes, plus coûteuses et moins faciles que dans les calorifères dont les tuyaux sont établis en tôle.

1885. MM. Geneste fils et Herscher frères construisent un calorifère qu'ils appellent calorifère français de cave avec appareil hémicycloïdal : il est représenté fig. 464 et 465. Il se compose d'un foyer en fonte garni à l'intérieur de briques réfractaires ; cette disposition a pour but d'assurer la conservation du foyer, tout en empêchant la fonte de rougir. Les briques peuvent être ici employées sans inconvénient à cause de la dimension assez grande du foyer qui permet de donner à la brique une épaisseur suffisante ; ce foyer est surmonté de couronnes cylindriques garnies de nervures et se termine par une coupole aussi nervée ; de chaque côté du cendrier se trouve un vase long G qu'on maintient plein d'eau. Les gaz s'échappent par un tuyau supérieur L qui les mène dans l'appareil hémicycloïdal ; cet appareil est en tôle, formé de deux enveloppes concentriques entre lesquelles circule l'air chaud ; il est muni à l'avant de tampons de nettoyage. Les gaz F, après avoir traversé l'appareil hémicycloïdal, s'échappent en E pour se rendre à la cheminée. Tout l'appareil est renfermé dans une chambre en briques E ; D est la porte du foyer. A,A sont les arrivées d'air ; B,B les sorties de l'air chaud ; en D se trouvent la porte du foyer et celle du cendrier.

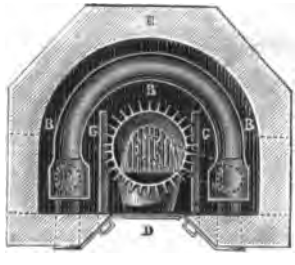


Fig. 464 et 465.

Avec des surfaces de grille variant de $0^{mq},07$ à $0^{mq},40$ et une surface de chauffe comprise entre $3^{m},50$ et 62^{m}, ces appareils d'après les constructeurs peuvent chauffer un cube d'air de 1200 à 26000^{mc} sans renouvellement d'air et un cube de 300^{mc} à 6500^{mc} avec prise d'air à l'extérieur et ventilation comme dans le cas des maisons particulières. Ce calorifère paraît réunir toutes les conditions de la bonne

utilisation de la chaleur, et d'un bon service ; de plus, l'air y est chauffé dans des conditions hygiéniques.

1886. Je terminerai ce qui regarde l'espèce de calorifères dont il est question par la description d'un appareil très-simple, qui me paraît satisfaire mieux que tous les autres aux conditions exigées. La figure 466 en représente une coupe verticale. Il est composé d'une cloche placée au-dessus du foyer et surmontée d'un tuyau qui communique, par sa partie supérieure et au moyen de quatre tuyaux horizontaux, avec une double enveloppe cylindrique, au bas de laquelle se trouve un autre tuyau communiquant avec la cheminée ; entre cette double enveloppe et le tuyau d'ascension de l'air brûlé, se trouve un cylindre de tôle ouvert par les deux bouts. L'air brûlé s'élève d'abord dans le tuyau central et descend ensuite dans la double enveloppe annulaire, en se répandant par couches isothermes dans l'intervalle des deux cylindres. L'air chaud s'élève simultanément autour du tuyau et de l'enveloppe annulaire; il est échauffé par son contact avec les surfaces rencontrées par l'air brûlé, par le cylindre de tôle intérieur et par la surface de la maçonnerie échauffés par rayonnement. Le tuyau central et la double enveloppe peuvent être facilement nettoyés, en enlevant le cône qui reçoit l'air chaud à la partie supérieure de l'appareil et ensuite les couvercles des deux tuyaux.

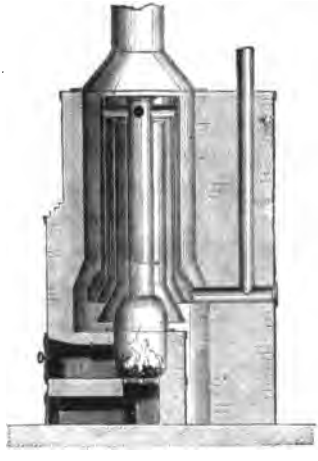


Fig. 466.

1887. En Angleterre on a employé, il y a plus de trente ans, des calorifères disposés d'une manière particulière qu'il peut être utile de connaître.

Le calorifère du vaste hôpital du Derbyshire est composé (*fig.* 467) d'une grande cloche en tôle de 5 millimètres d'épaisseur, ayant la forme d'un prisme quadrangulaire surmonté d'une calotte formée de deux cylindres qui se pénètrent à angle droit, comme une voûte en arc de cloître. Cette cloche est posée sur le foyer, qui est en forme de trémie. Sur deux côtés opposés de la partie inférieure de la cloche se trouve une ouverture large de $0^{m},012$ qui se prolonge sur tout le côté ; ces ouvertures sont destinées à évacuer la fumée et à la con-

duire dans un canal horizontal qui aboutit à la cheminée. Comme elles sont sujettes à s'obstruer par la suie, en avant de l'appareil se trouvent deux tringles dont les extrémités sont garnies de petites plaques, qui par le mouvement des tringles parcourent les ouvertures dont nous venons de parler et les dégorgent de la suie qui aurait pu s'y amasser. Autour de la cloche existe une enveloppe en maçonnerie de même forme, et qui en est distante de $0^m,20$. Cette enveloppe est percée dans toute son étendue d'un grand nombre d'ouvertures égales et circulaires, dans lesquelles sont scellés des tuyaux de même diamètre, ouverts par les deux bouts, et qui pénètrent dans l'espace vide situé entre la cloche et son enveloppe, jusqu'à 2 centimètres de la cloche. Elle est environnée de murailles terminées par une voûte, à la partie supérieure de laquelle se trouve un canal qui conduit l'air chaud dans le lieu que l'on veut échauffer. L'espace compris entre la première et la seconde enveloppe est séparé en deux parties par une cloison horizontale ; la partie inférieure est en communication avec l'air froid qui doit être échauffé, l'autre reçoit l'air chaud. D'après cette description, on voit que l'air froid arrive sur la surface extérieure de la cloche par les tubes qui sont placés au-dessous du diaphragme, qu'il s'élève ensuite en cheminant entre les tubes placés au-dessus, et qu'il se dégage dans le réservoir d'air chaud par les tubes supérieurs qui sont de plus en plus inclinés. DD, muraille extérieure formant la seconde enveloppe ; L, foyer ; *b*, châssis contenant une plaque à coulisse pour laisser tomber les cendres ; F, tuyau en fonte pour l'introduction du combustible ; P, embrasure voûtée de la porte du foyer ; *f*, canal par lequel la fumée se rend à la cheminée ; A, cloche en tôle ; BB, première enveloppe de la cloche garnie de tuyaux ; *x*, diaphragme en brique qui force l'air froid à entrer dans l'enveloppe B, en passant par les tuyaux inférieurs.

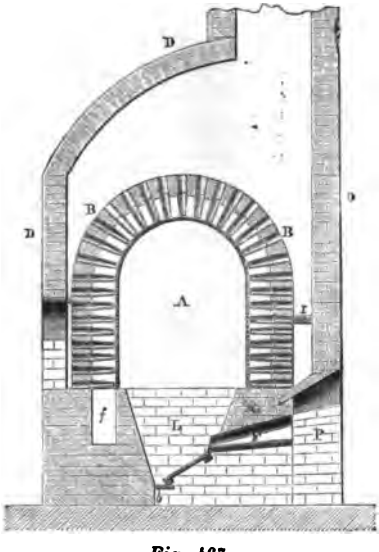


Fig. 467.

1888. Il paraît, d'après une expérience faite sur ce calorifère,

qu'un kilogramme de houille échauffe 252^{mc} d'air ou 327^{k} de 33°, ou 10790^{k} de 1°. Ainsi l'effet utile d'un kilogramme de houille est de 2700 unités de chaleur. Dans une autre expérience faite avec un calorifère portatif, construit sur le même principe, mais perfectionné, l'auteur a échauffé 12500^{k} d'air de 1° par kilogramme de houille. Ces résultats font voir que, dans les calorifères dont il est question, la chaleur est employée bien moins avantageusement que dans les autres appareils; la raison en est évidente: la surface de chauffe est trop petite, et on n'utilise guère que la chaleur rayonnante. Cette disposition a cependant l'avantage d'empêcher le métal, chauffé directement par le foyer, d'acquérir une température élevée, à cause du courant d'air froid amené sur sa surface.

1889. Depuis l'époque de l'apparition de ces calorifères, on en a construit sur de plus grandes dimensions, en donnant aux tubes une enveloppe en tôle au lieu d'une enveloppe en briques. La cloche est plus longue que dans les premiers, d'environ la profondeur du foyer; celui-ci est en fer, il a la forme d'une trémie sur trois côtés, et la paroi antérieure va rejoindre verticalement la cloche; il est entouré de briques sur les trois côtés obliques, et sur le devant il a une ouverture pour l'introduction du combustible. Par cette disposition, le conduit de la fumée commence dans un petit espace à droite et à gauche de la cloche, entre elle et la partie extérieure du foyer, et sur une largeur d'environ un centimètre; cet espace, en raison de la forme en trémie du foyer, s'élargit en descendant, de telle sorte qu'au niveau de la grille il a une largeur asssez considérable ; ces cavités latérales se réunissent à une cavité semblable pratiquée sur la partie postérieure du foyer, d'où la fumée passe dans un canal construit sous le sol, et ensuite dans la cheminée. Cette dernière partie du canal qui conduit la fumée à la cheminée est séparée du cendrier par une porte en tôle qui s'ouvre à volonté pour permettre de nettoyer les conduits de fumée.

Comme l'air qui entre par la rangée la plus basse des tubes doit s'élever entre les tubes de la deuxième rangée; que celui qui entre par la première et la deuxième doit passer entre les tubes de la troisième; et finalement, que l'air qui est entré par tous les tubes au-dessous de la rangée la plus élevée de la chambre à air frais doit passer entre ceux-ci pour gagner la chambre à air chaud, où il se dégage; il s'ensuit que l'espace compris entre les tubes de la rangée la plus élevée doit être égal à la somme des surfaces des bouches de tous les tubes qui sont au-dessous de cette rangée, afin que l'air,

dans sa course, ne soit pas obligé de changer de vitesse. Ces considérations ont engagé l'auteur à donner aux calorifères la forme indiquée.

1890. Un appareil qui a beaucoup d'analogie avec ceux dont je viens de parler a été établi dans les bâtiments des archives de la guerre. Il se composait d'une cloche chauffée exactement comme celle de la figure 467 ; mais l'air à chauffer circulait autour de sa surface dans un canal rampant.

1891. Tous les calorifères, dans lesquels l'air ne circule pas librement autour des surfaces de chauffe, sont compliqués et d'une construction difficile ; ils ne produisent qu'un faible effet utile à cause du peu d'étendue des surfaces de transmission de la chaleur ; aussi ne se sont-ils pas propagés.

1892. *Calorifères à alimentation continue.* — Les foyers de ces calorifères peuvent être disposés comme ceux des calorifères placés dans les pièces à chauffer et à ventiler ; mais, comme ces appareils doivent renfermer de grandes surfaces de chauffe, et qu'il est important de diminuer autant que possible la transmission de la chaleur par l'enveloppe du calorifère, il est plus commode de placer le foyer sur une des faces latérales. Tous les calorifères horizontaux ou verticaux peuvent facilement être modifiés de manière à satisfaire à cette condition. Il est important de remarquer que, ces foyers devant être alimentés par du coke ou des houilles sèches, on a moins à se préoccuper, dans la disposition de l'appareil, des moyens de nettoyage des tuyaux.

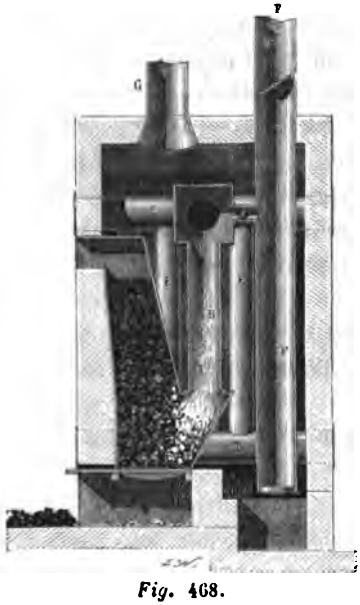


Fig. 468.

1893. M. Poncini a présenté à l'Exposition universelle de 1855 un calorifère à alimentation continue, dont la figure 468 représente une coupe verticale. Le foyer est alimenté par une trémie et l'air brûlé s'élève dans trois tubes verticaux B, qui le conduisent dans un tuyau perpendiculaire au plan de la figure et ensuite dans deux tuyaux parallèles C ; il redescend ensuite de chaque côté par cinq tuyaux verticaux E dans deux tuyaux horizon-

taux D, qui communiquent avec la cheminée FF. L'air pur est amené par un canal inférieur et s'écoule par le tuyau G.

1894. La figure 469 représente une coupe verticale d'un calorifère à tubes verticaux garni d'un foyer à alimentation continue. La vue de la figure suffit pour faire comprendre la disposition de l'appareil. Ce genre de foyer a été appliqué au chauffage des fours à cornues des usines à gaz et même à quelques chaudières à vapeur.

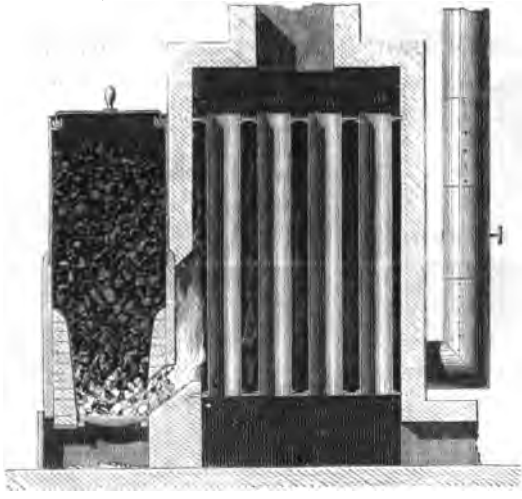


Fig. 469.

1895. *Calorifères céramiques.* — Les différentes considérations que nous avons exposées relativement aux inconvénients qui peuvent résulter de surfaces de chauffe portées à une température trop élevée ont mené un certain nombre de constructeurs à établir des calorifères tout en briques. L'un des systèmes les plus employés et l'un de ceux qui paraissent donner les meilleurs résultats est celui de MM. Gaillard et Haillot ; cet appareil est représenté fig. 470 et 471. Il est formé d'un foyer surmonté d'un conduit vertical A′ très-large formé de briques réfractaires ; la fumée se divise ensuite dans les conduits B horizontaux pour descendre dans les conduits B′, puis dans les conduits B″ et B‴ ; deux rangs superposés de conduites sont séparés dans le sens horizontal par des briquettes réfractaires de $0^{m},04$ d'épaisseur ; la fumée se rend ensuite dans le conduit F qui la mène à la cheminée ; D,D sont des tampons de nettoyage de ces conduits, il y en a d'autres en D′,D′ ; les conduits horizontaux sont séparés par des cloisons

verticales E,E formées de briques creuses réfractaires, posées verticalement de façon que les joints d'une assise reposent sur les pleins des briques de l'assise suivante ; l'appareil est entouré d'une chemise en briques ordinaires de 0m,22 d'épaisseur ; l'air extérieur est amené par un conduit dans la grande chambre F d'où il se distribue dans

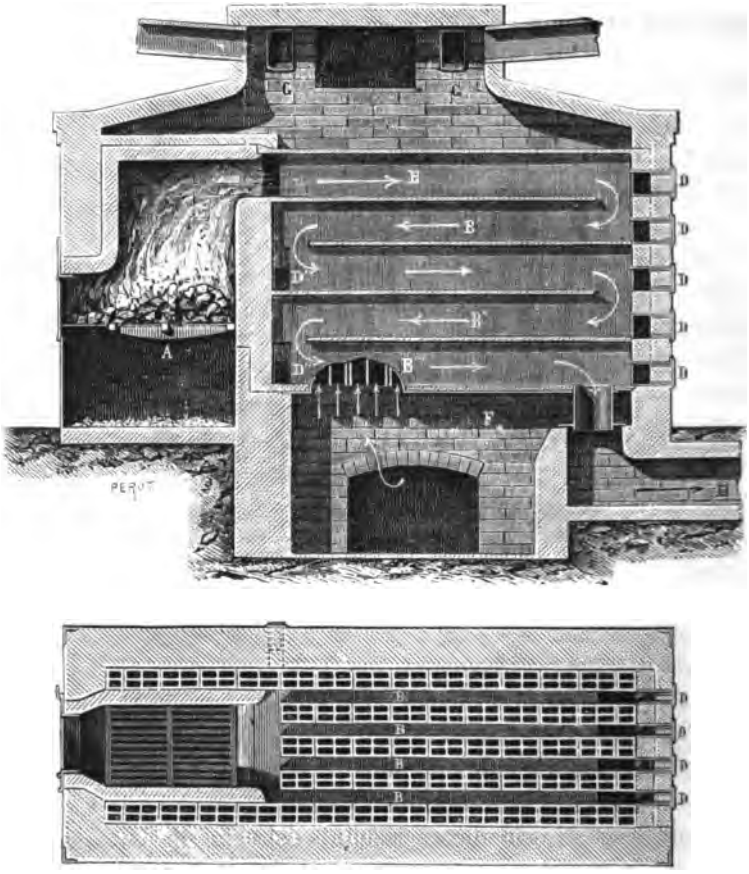


Fig. 470 et 471.

tous les canaux formés par les creux des briques, et il arrive dans une chambre supérieure G d'où il se rend dans les deux conduits d'air chaud de la distribution.

1896. Les avantages généraux des calorifères céramiques sont les suivants : ils présentent à l'air des surfaces moins fortement échauffées que celles des calorifères en fonte, et par suite permettent de four-

nir de l'air qui se trouve dans des conditions hygiéniques plus certaines; de plus, leur masse étant très-considérable, on obtient une très-grande régularité dans le chauffage de l'air, et ils permettent sans inconvénient des intermittences dans la conduite du foyer; cet avantage est précieux quand il s'agit d'obtenir un chauffage continu comme dans les hôpitaux par exemple. Mais ce dernier avantage disparaît et devient même un inconvénient lorsqu'on n'a à faire que des chauffages intermittents, à cause de la grande quantité de chaleur qu'il faut emmagasiner dans l'appareil avant d'arriver à son maximum d'effet, et à cause aussi de la grande quantité de chaleur que l'appareil conservera sans utilisation quand le chauffage viendra à cesser. D'un autre côté, il est absolument impossible d'éviter les fendillements sinon de la brique au moins de la terre qui les joint, et il se forme ainsi en très-grand nombre des issues que la fumée traversera pour se mélanger à l'air si le tirage est imparfait, ce qui est fâcheux au point de vue de l'hygiène et du comfort; ou bien que l'air traversera pour se mêler à la fumée, si le tirage est bon, ce qui constituera une perte. De ces deux inconvénients, les constructeurs paraissent avoir choisi le dernier; ils donnent en effet à la fumée une vitesse notablement plus grande que celle de l'air chaud de façon qu'il y ait toujours appel de l'air à la fumée; en particulier, il résulte des expériences faites par M. Tresca sur le calorifère qui vient de nous occuper, que la vitesse de la fumée est près du double, dans ce calorifère, de celle de l'air chaud; d'après les mêmes expériences, il résulte que le rendement calorifique de ces calorifères est de 0,80 à 0,85 et que la quantité de chaleur utilisable qu'ils peuvent fournir est d'environ 700 calories par mètre carré de surface de chauffe.

Quant aux calorifères métalliques, il résulte d'expériences de M. Morin que leur effet calorifique est d'environ 0,85 à 0,93 en moyenne, et qu'il faut une surface de chauffe de 15 mètres à peu près par 1,000^{mc} d'air, chauffé sans ventilation, et de 20^{mq} s'il y a ventilation.

Pour un calorifère analogue au calorifère Staib et construit par M. Weibel et Cie de Genève, le rendement calorifique a été de 91 p. 100.

CHAPITRE III

Calorifères destinés à chauffer l'air à une haute température.

1897. Pour le chauffage de l'air à une haute température, l'économie des surfaces de chauffe et celle du combustible exigent né-

cessairement que la fumée et l'air à échauffer marchent en sens contraire. Quand l'air est lancé par une machine soufflante, ce qui arrive presque toujours, il s'écoule dans des tuyaux de fonte placés dans des canaux que parcourt l'air brûlé.

1898. La disposition la plus simple consisterait en un canal voûté, horizontal, en briques, d'une suffisante épaisseur, terminé à un bout par un foyer, à l'autre par une cheminée, et renfermant un tuyau de fonte, placé de manière que l'air brûlé pût circuler autour; le tuyau recevrait l'air froid par l'extrémité voisine de la cheminée, et communiquerait par l'autre avec le tuyau qui doit conduire l'air chauffé dans le lieu où il doit être utilisé. Cette disposition, d'abord essayée pour chauffer l'air d'alimentation des hauts fourneaux, produit peu d'effet utile à cause de la grande surface exposée à l'air que présente le canal de chauffe; d'ailleurs elle tient trop de place.

Ordinairement, pour diminuer l'espace occupé, on replie le canal à fumée sur lui-même, dans un plan horizontal, ou plus souvent dans un plan vertical. Ces trois dispositions offrent l'inconvénient d'exposer les joints à l'action des gaz sortant du foyer et de ne permettre leur visite et leur réparation qu'en démolissant le fourneau.

1899. En Angleterre, on employa d'abord un calorifère formé de trois gros tuyaux de $0^m,70$ de diamètre intérieur, placés horizontalement et réunis par des coudes; ils sont placés dans une chambre en maçonnerie et séparés par des voûtes qui forment des carneaux parcourus successivement par la fumée d'un foyer à la houille; les tuyaux sont supportés de distance en distance par des murettes reposant sur les voûtes; la consommation de l'appareil était de 620 kilogrammes de houille par tonne de fonte; l'air y était chauffé à 182°. Beaucoup plus tard, on chercha à l'améliorer en employant un système de deux tuyaux concentriques de façon à établir une double circulation d'air. Cette disposition de doubles tuyaux concentriques avait été adoptée pour remédier à un inconvénient grave que présentent en général les tuyaux d'un grand diamètre; l'air s'échauffant inégalement, il se produit un courant d'air froid dans l'axe des tuyaux et il devient impossible de porter l'air à une température élevée. Les tuyaux étaient en fonte et avaient $0^m,70$ de diamètre intérieur. Les petits tuyaux étaient en tôle, de $0^m,014$ d'épaisseur et de $0^m,48$ de diamètre intérieur. La disposition du fourneau était exactement la même que dans l'appareil précédent. La consommation de houille était de 6 quintaux par tonne de fonte. Ces deux appareils sont abandonnés depuis longtemps.

1900. La disposition, connue sous le nom de Calder, usine anglaise où elle été construite pour la première fois, est représentée dans les figures 472 et 473. L'appareil se compose de deux cylindres horizontaux A et B, et de neuf petits tuyaux C, C,... recourbés en forme de siphons, et dont les extrémités sont fixées par le masticage dans les tubulures des cylindres. Le tuyau d'arrivée de l'air A est fermé à son extrémité, et il en est de même du tuyau de départ B. Ce système de tuyaux est placé dans un fourneau chauffé à la houille. Les assemblages des petits tuyaux avec les gros sont enveloppés de maçonnerie ; la flamme du foyer arrive dans le four par une fente longitudinale *nn*, pratiquée dans toute sa largeur, et l'air brûlé s'écoule dans la cheminée par un conduit en maçonnerie établi à la partie supérieure du four. Dans un appareil qui a bien fonctionné, les tuyaux A et B avaient 3^{m},30 de longueur et 0^{m},25 de diamètre ; les petits tuyaux C avaient 0^{m},08 de diamètre intérieur ; on en a fait aussi de 0^{m},10 ; 0^{m},12 et 0^{m},14 de diamètre intérieur. La température de l'air peut atteindre dans cet appareil 300° et plus. L'effet utile doit être bien faible, à cause surtout de la disposition des orifices de sortie de l'air brûlé.

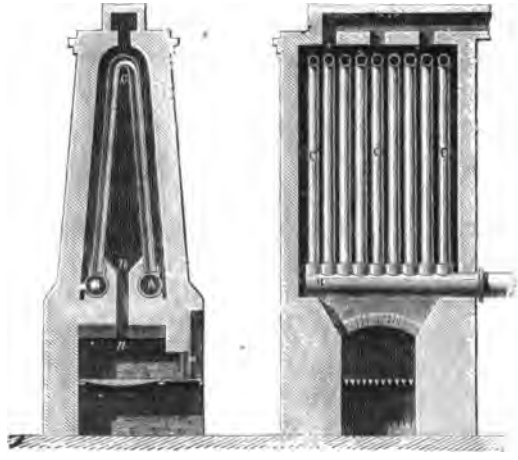


Fig. 472. *Fig.* 473.

1901. Dès l'origine, et pendant bien des années, le chauffage du vent dans les hauts fourneaux, qui avait été pratiqué pour la première fois en Angleterre, à Gartsherry en 1832, s'est effectué dans ce pays en brûlant de la houille. C'est également ce mode de chauffage qui servit dans les premières applications faites sur le continent.

Mais en France et en Allemagne, où le charbon coûte plus cher qu'en Angleterre, on songea bientôt à opérer le chauffage au gueulard des hauts fourneaux au moyen de la flamme qui s'en dégage ; c'est principalement sur des hauts fourneaux au charbon de

bois que ce genre d'installation fut exécuté; le peu d'emplacement dont on disposait d'ordinaire fit adopter certaines dispositions dont une des plus anciennes est celle de Wasseralfingen. Elle consiste en plusieurs rangées de tuyaux à section circulaire, de $0^m,15$ environ de diamètre, placées horizontalement les unes au-dessus des autres dans un four établi au bord du gueulard pour en recevoir la flamme. Deux coudes, réunis aux tuyaux horizontaux par des joints à emboîtement, mettent ces tuyaux en communication de manière à ce que le vent les parcoure successivement. C'était le système du tuyau droit primitivement employé, mais reployé plusieurs fois sur lui-même et avec un chauffage bien moins méthodique. Tous les coudes étaient tenus en dehors du four dans un but de conservation des joints et de surveillance des fuites; comme on ne donnait à ces tuyaux qu'une faible longueur ($1^m,50$ de portée), pour en éviter la flexion, le poids de la fonte non employée à la chauffe était assez considérable relativement à celui de la partie qui formait la surface de chauffe; celle-ci était de $0^{mq},50$ à $0^{qm},60$ par mètre cube d'air à chauffer par minute, aussi la température n'était-elle en moyenne que de 160°.

On a beaucoup fait varier cet arrangement des tuyaux, tout en conservant le type; on a employé des tuyaux plus gros afin d'avoir une plus grande portée et un moins grand nombre de joints. Or, comme nous l'avons déjà dit, les gros tuyaux ne sont pas propres à fournir un bon chauffage de l'air.

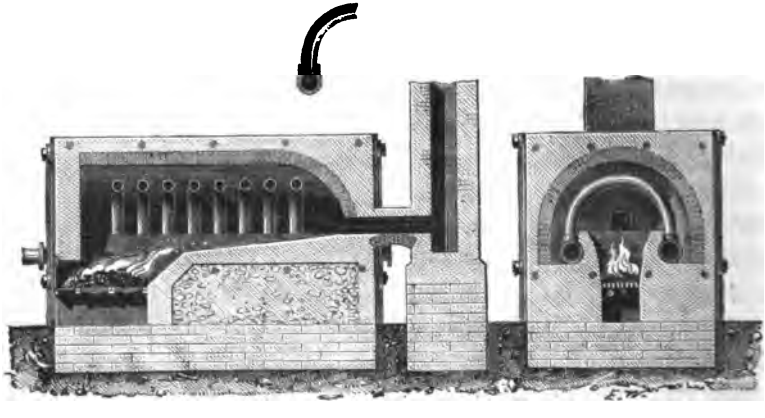


Fig. 474. *Fig.* 475.

1902. L'appareil de Taylor, représenté par les figures 474 et 475 se

compose, comme l'appareil de Calder, de deux gros tuyaux horizontaux, réunis par huit tuyaux courbés en demi-cercles, fixés à leurs extrémités dans des tubulures des gros tuyaux. On a donné à ceux-ci $3^m,60$ de longueur, $0^m,36$ de diamètre extérieur, $0^m,025$ d'épaisseur. Les tuyaux courbes avaient pour axe un cercle de $0^m,78$ de rayon, et un développement de $2^m,25$; leur diamètre était de $0^m,17$, leur surface totale de 11^{mq}, 60. Les joints sont faits à emboîtement et mastic, comme l'indique le détail au-dessus de la figure 474, et noyés dans la maçonnerie. M. Taylor admet que, dans son appareil, 1 mèter carré de surface de fonte chauffée au rouge-cerise suffit pour porter 1^{mc} d'air à 300°, par minute. Cette disposition doit donner un meilleur effet utile que le modèle de Calder, parce que l'orifice de sortie des gaz brûlés est à la partie inférieure du four; mais il y a trop peu de surface de chauffe. L'appareil, abandonnant l'air brûlé à une très-haute température, doit nécessairement utiliser assez mal la chaleur du combustible.

Cet appareil a été aussi employé avec le chauffage au gueulard.

1903. L'invention qui a consisté à faire descendre au pied des hauts fourneaux les gaz éteints par la seule pression que l'on produit au gueulard, a permis de placer les appareils à air chaud à proximité des tuyères, de leur donner une grande surface de chauffe et d'obtenir une température de l'air beaucoup plus élevée. Quand les appareils étaient au gueulard, il n'était pas rare de voir l'air chaud arriver aux tuyaux après avoir perdu 25 ou 30 p. 100 de l'excès de température qu'il avait à sa sortie des fours à air chaud; d'ailleurs, tout parcours un peu prolongé de l'air chaud occasionne toujours une perte sensible de chaleur, malgré les précautions que l'on prend d'ordinaire contre le refroidissement; il n'y a guère maintenant d'appareils à air chaud, quel qu'en soit la forme et le système, qui soient chauffés autrement que sur le sol et par les gaz du gueulard.

Comme on a reconnu, depuis quelques années, qu'il y a avantage à chauffer l'air des hauts fourneaux plus fortement qu'on ne le faisait jusque-là, on a été mené à accroître la surface de chauffe des appareils. Au chiffre de $0^{mq},60$ à $0^{mq},80$ autrefois employé on a substitué celui de 1^{mq}, par mètre cube d'air échauffé en une minute; l'accroissement de la surface de chauffe est d'ailleurs favorable à la bonne utilisation de la chaleur. Dans les usines où l'on chauffe l'air à 300° on porte la surface de chauffe à $1^{mq},30$; pour atteindre 400°, on emploie $1^{mq},50$ à $1^{mq},60$; il convient même d'aller jusqu'à 2^{mq}, pour le maintenir toujours à cette limite. D'après le *Journal of*

iron and steel Institute (1871-73), dans les usines de Cleveland, où l'on chauffe l'air à 550° et 600°, on a 4^{mq} de surface de chauffe, et à Ayrsome, pour se maintenir à 600°, on emploie $5^{mq},30$. Les appareils en fonte permettent bien d'obtenir des températures aussi élevées, mais toutes les dispositions ne supportent pas également bien la fatigue qui en résulte; ceux dans lesquels le chauffage est tout à fait méthodique doivent être préférés parce que, dans ce cas, les surfaces qui chauffent au maximum sont les seules qui s'altèrent et qu'on doit renouveler.

1904. Les appareils chauffés par les gaz des gueulards sont sujets à des variations de température qui proviennent surtout des poussières entraînées par le gaz, notamment par ceux des hauts fourneaux au coke; ces poussières diminuent considérablement la combustibilité de la fonte qu'elles recouvrent. Il est donc important d'employer des appareils de nettoyage préalable des gaz, ayant un développement suffisant; dans tous les cas, on doit établir les appareils à air chaud de façon que leur nettoyage soit prompt et facile; si on emploie les appareils multi-tubulaires, dont les tuyaux, rapprochés les uns des autres, ne peuvent être nettoyés qu'en pénétrant dans le four, il faut se résoudre à en avoir de rechange. Cette diminution de la conductibilité de la fonte par le fait des dépôts qui la recouvrent a poussé à l'exagération des surfaces de chauffe.

1905. Comme il n'existe pas de pyromètre d'un usage sûr et facile pour mesurer les températures de l'air chaud, dès qu'elles dépassent 300°, les chiffres supérieurs à ce dernier sont des approximations plutôt que des mesures exactes. On les obtient au moyen de barrettes de métaux fusibles à diverses températures, et, suivant la manière d'opérer, il peut y avoir des différences et par suite des erreurs très-notables.

1906. MM. Laurens et Thomas ont imaginé une disposition totalement différente des appareils précédents et de leurs dérivés. Ces ingénieurs avaient d'abord employé les appareils multitubulaires du genre Calder, qui leur avaient donné lieu de reconnaître que le vent était loin de se répartir également entre tous ces petits tubes implantés sur un même tuyau droit plus ou moins long, et que c'était toujours une opération difficultueuse que de les débarrasser des enduits poussiéreux qui les recouvrent.

L'élément constitutif, établi en 1846 pour l'appareil en question, consiste dans un assez gros tube de fonte dont la surface extérieure est chauffée, et dont la surface intérieure porte, venues à la fonte,

des saillies ou nervures longitudinales de 0m,15 environ de hauteur, très-rapprochées les unes des autres ; le vide cylindrique qui reste ainsi au centre du tube est rempli par un tuyau en fonte mince, fermé aux deux bouts, de telle sorte qu'on a ainsi un espace annulaire que l'air parcourt en couches minces qui ne sont pas cependant isolées les unes des autres. Les nervures forment une surface de chauffe par conductibilité et l'appareil présente une surface totale qui est au moins le double de celle qu'offrirait la surface extérieure seule du tube-enveloppe ; plusieurs tubes semblables placés à côté les uns des autres, dans lesquels le vent passe successivement, forment un appareil que l'on chauffe avec les gaz ; la flamme parcourt le four en sens inverse de l'air à chauffer.

Cet appareil a subi différentes modifications ; les figures 476 et 477 le représentent tel qu'il a été établi en dernier lieu.

Il se compose d'un certain nombre de tubes verticaux, ABCDE, placés les uns à la suite des autres dans un four, soit en ligne, soi sur un plan circulaire ou carré, suivant les emplacements disponibles. Le four est établi sur un sous-sol Y dans lequel on pénètre pour nettoyer. Le dessin représente seulement le premier tube ABCDE et le dernier A'B'C'D'E' entre lesquels deux ou trois autres tubes semblables sont interposés. On peut faire croître le diamètre des tubes, au fur et à mesure que le volume de vent augmente par suite de son échauffement.

Le tube ABCDE et tous les autres portent, venues à la fonte, les lames *o*, *p*, *q*, *r* ; elles ont la longueur du tube, mais sont échancrées de distance en distance, pour faciliter le mélange des veines d'air ; du reste, entre l'extrémité des lames et le tube central FG, il y a un faible jeu à cet effet. Le tube central FG constitue l'espace annulaire dont nous avons parlé, mais il est ouvert aux deux bouts et reçoit par son orifice supérieur l'air échauffé qui provient de l'espace annulaire et il le transmet par son orifice inférieur à l'espace annulaire du tube suivant par l'intermédiaire du compartiment L de la caisse HH' et de la tubulure *tt*. Les tubes ABCDE reposent sur des caisses en fonte HH, munies d'un compartiment L d'où part la tubulure méplate *tt'* qui porte l'air à la caisse suivante. Le plafond de ces caisses est percé de petites ouvertures *ii*, *i'i'*, dont les sections sont combinées pour répartir l'air dans tout l'espace annulaire *mn*, *m'n'* ; les tubulures *tt'* sont réunies entre elles par un raccord IK disposé pour céder par son élasticité aux effets de la dilatation et de la contraction. Cette circulation se reproduit d'un tube au suivant, et le vent, arrivé à son

maximum de température dans le tube A'B'C'D'E', en sort par la tubulure L' et par le tuyau M pour se rendre aux tuyères. Des orifices *u u*, *u'u'* pour le nettoyage par le sous-sol Y sont ménagés dans le plancher du four ; d'autres orifices, fermés également par des soupapes *vv*, *v'v'*, sont établis dans le plafond du four pour le nettoyage et comme soupapes de sûreté ; enfin, il y en a au bas du four qui per-

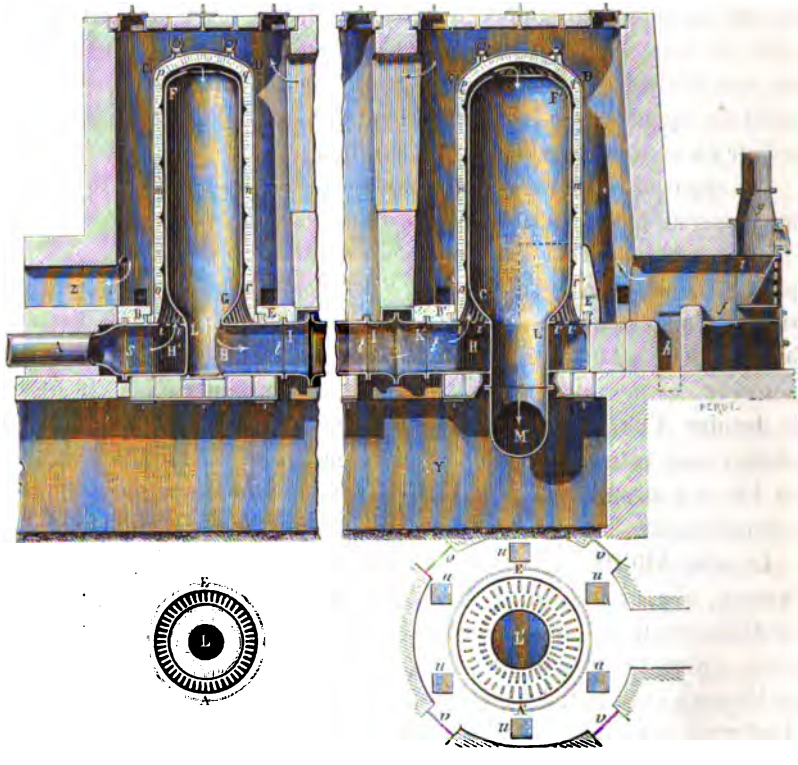


Fig. 476 et 477.

mettent d'entrer dans celui-ci, au besoin. Ce système diminuant au moins de la moitié la surface de chauffe à nettoyer et celle-ci étant cylindrique et verticale, accessible par le haut et par le bas, permet d'enlever facilement et fréquemment les poussières qui s'y attachent. Les premiers appareils furent construits avec des tubes longs et horizontaux ; mais l'allongement permanent, si considérable pour certaines fontes, fit abandonner cette disposition. Dans le modèle que nous décrivons l'appareil est complétement à dilatation libre ; les raccords élastiques IK n'ont à éprouver que de faibles mouvements.

Dans cette disposition le chauffage est complétement méthodique; l'air froid arrive en A et sort échauffé en M; le foyer à gaz à lames verticales ou horizontales est en *g g'* et la sortie des gaz brûlés se trouve en *z*, au bas du four, d'où ils gagnent la cheminée; en *f* se trouve un petit foyer de rallumage et en *h h'* l'arrivée du gaz d'un gazogène à la houille en cas de dérangement du haut fourneau qui fournit les gaz du gueulard.

1907. Quelques auteurs tendent à juger du mérite comparatif des divers appareils à air chaud par la plus ou moins faible vitesse avec laquelle le vent à échauffer y circule; une plus grande vitesse exige en effet un peu plus de force à la soufflerie; mais quelques millimètres de mercure en plus ou en moins, pour la pression, ne sont pas à considérer avec des souffleries marchant sans dépense de combustible, quand on doit obtenir un meilleur chauffage de l'air; puisque, comme certains auteurs l'admettent, la conductibilité des surfaces métalliques est proportionnelle à la racine carrée de la vitesse de l'air à chauffer.

1908. Les figures 478 et 479 représentent un appareil multitubulaire, qui a paru en Angleterre, il y a quelques années. Au lieu des siphons de l'appareil *Calder*, c'est chaque tube qui joue le rôle d'un de ces siphons; à cet effet le tube est méplat et divisé par une cloison, venue de fonte dans sa largeur, en deux sections égales; la figure 478 montre deux de ces tubes *ab*, *cd*, coupés suivant leur hauteur, qui est de 3 mètres à 3^{m},30. L'air à chauffer monte par une de ces gaînes et descend par l'autre, la section de ces tubes cloisonnés a 0^{m},40 à 0^{m},50 de longueur sur 0^{m},18 à 0^{m}, 25 de largeur. L'appareil se compose d'un certain nombre de tubes posés verticalement les uns à côté des autres; il est dit *à pistolets*, parce que chaque tube se termine par une partie courbe qui ressemble à une crosse de

Fig. 478.

Fig. 479.

pistolet. Il a été fréquemment employé et il a donné lieu à différentes dispositions fondées sur l'emploi de tubes cloisonnés. Les cloisons, venues à la fonte, chauffent par conductibilité comme dans le cas du système précédemment décrit, mais elles n'arrivent jamais à former qu'une faible partie de la surface totale de chauffe.

La figure 479 est la vue en plan de l'une des caisses rectangulaires *mn*, *m'n'*, dans les tubulures desquelles les tuyaux verticaux sont mastiqués ; chaque caisse se compose de deux portions semblables réunies entre elles par le joint *qr;* de plus dans chaque caisse existe une cloison longitudinale venue à la fonte et qui se sépare en deux compartiments *i* et *i'*. Dans le joint *qr* on a interposé une plaque qui ferme l'extrémité du compartiment *i* de la portion *mnqr*, tandis que l'extrémité du compartiment *i'* reste libre.

L'air froid arrive en *f*, parcourt le compartiment *i* en se répandant dans les gaînes *o* de chacun des huit tubes qui sont implantés sur cette caisse ; il redescend ensuite dans l'autre gaîne *o'* des mêmes tubes pour se rendre dans le compartiment *i';* de celui-ci, il passe dans le compartiment de la seconde portion de caisse *opqr* qui forme son prolongement, puis dans les gaînes correspondantes des tuyaux que porte ce compartiment pour redescendre par la seconde gaîne de ces mêmes tuyaux et gagner le second compartiment *op* d'où il s'écoule par le branchement *s;* de là l'air est envoyé dans la seconde caisse du four pour recommencer une circulation toute semblable. Les tuyaux *ab*, *a'b'*, formant une paire analogue au siphon de *Calder*, peuvent se dilater librement ; ce qui n'avait pas lieu dans l'appareil Calder et y occasionnait des ruptures.

L'appareil à *pistolets*, ou de Clarence-Works, a été chauffé au gaz et aussi à la houille.

1909. Le chauffage n'est pas méthodique dans ce dispositif. On se rapproche plus d'un chauffage méthodique dans une autre disposition adoptée en France ; pour cela, on place une seule caisse *mnop*, garnie de ses tubes verticaux, dans un premier compartiment du four à gaz, puis une seconde bande semblable dans un second compartiment que parcourt la flamme sortant du premier ; enfin une troisième bande et une quatrième sont placées dans un troisième et un quatrième compartiment du four que la flamme parcourt successivement ; l'air passe successivement d'une bande à une autre, les tuyaux cloisonnés que l'on a employés étaient droits, sans la crosse des tuyaux anglais. En augmentant le nombre des tuyaux de chaque bande au fur et à mesure que l'air s'échauffe, on

peut accroître les sections en raison de la dilatation ; mais il reste toujours l'inconvénient de voir l'air ne point se répartir également dans tous les tubes.

1910. Quel que soit le système d'appareil auquel on a recours, il en faut plusieurs pour chauffer de grands volumes d'air, tels que ceux qu'exigent les hauts fourneaux dont la production journalière est de 50 à 60 tonnes.

1911. On a fait un grand nombre de variantes des diverses dispositions que nous avons décrites : ainsi, on a placé les tuyaux cloisonnés en pendentifs comme les tubes *Field* pour chaudières à vapeur. On a cloisonné les tuyaux de Wasseralfingen pour employer des tuyaux plus gros en y faisant faire double parcours au vent. On a aussi fait ceux-ci méplats, sans les cloisonner, et d'une hauteur à peu près égale à trois fois leur largeur, pour pouvoir leur donner, en les mettant de champ, une portée de $2^m,50$ à $2^m,60$; antérieurement on avait déjà modifié le système Calder en faisant les tuyaux méplats pour obtenir plus de surface de chauffe ; dans le même but, on augmentait aussi le nombre des siphons.

1912. *Appareils céramiques à air chaud.* — L'effet économique de l'air chaud pour le soufflage des hauts fourneaux avait fait penser que plus haute serait la température, plus serait grande l'économie réalisée sur le combustible, mais la pratique a montré que celle-ci n'est point proportionnelle aux accroissements de température et qu'il existe une limite supérieure qu'il y a peu d'intérêt à dépasser. C'est aux environs de 700° que l'on paraît devoir se fixer maintenant. Lorsqu'il s'est agi de chauffer l'air à une température supérieure à celle à laquelle on peut arriver dans les appareils en fonte, on a dû chercher à employer des surfaces de chauffe en matériaux réfractaires ; mais on ne put s'arrêter à une simple substitution aux tuyaux en fonte de tuyaux ou de caisses en poterie réfractaire, car on n'est pas encore parvenu à fabriquer des poteries imperméables à l'air, lorsqu'il est forcé surtout. La première solution qui a été fournie est celle de M. Cowper en 1857 ; c'était l'application aux hauts fourneaux du système de régénérateur en briques proposé par le même auteur pour chauffer très-fortement l'air de combustion des fours à la houille à haute température, fours qui se transformèrent ensuite en fours à gaz avec le gazogène Siemens. Le système était donc fondé sur le jeu alternatif de deux appareils semblables, composés d'empilages de briques à claire-voie, dont l'un est chauffé par les chaleurs perdues, tandis que l'autre chauffe, en se refroidissant, l'air à échauf-

fer ; pour le chauffage de l'air des hauts fourneaux au moyen des gaz du gueulard, en admettant qu'il s'agisse de chauffer 150 à 160 mètres cubes d'air par minute, l'appareil Cowper sera constitué de la façon suivante : dans une tour cylindrique en tôle forte de 8 mètres de diamètre formant une chambre hermétique, et revêtue intérieurement d'un muraillement en briques de 0m,50, au centre, se trouve une cheminée en briques de 1m,50 de diamètre et 0m,33 d'épaisseur sur 8 mètres de hauteur ; l'espace annulaire restant entre ces deux briquetages est rempli sur cette même hauteur d'un empilage de briques disposées de façon à laisser autant de vide que de plein, et à offrir un grand nombre de gaînes verticales de 0m,165 de côté ; cette construction ne s'élève pas jusqu'au plafond de la tour, où elle laisse vide une certaine capacité. Pour chauffer cette masse de briques réfractaires, le gaz et l'air destiné à le brûler arrivent à la base de la cheminée centrale, chacun par un canal qui interrompt l'empilage sur son passage ; la flamme, dans la cheminée centrale, se répand dans une capacité réservée entre le plafond de la tour et son extrémité, puis redescend par les gaînes de l'empilage pour se rendre à la cheminée de tirage ; celle-ci doit être très-puissante, en raison de la somme des résistances que les gaz brûlés éprouvent dans leur circulation ; on a vu des cheminées de 40 mètres être insuffisantes. Lorsque les briques sont arrivées au rouge dans la moitié supérieure de l'empilage, on arrête le gaz et on l'envoie dans le second appareil, puis on lance le vent de la soufflerie dans l'appareil chaud de façon que son passage s'effectue en sens inverse de la circulation du gaz, c'est-à-dire qu'il sort par le bas de la cheminée centrale. Des mouvements de registres assez nombreux sont nécessaires à chacune de ces interversions ; ceux qui sont exposés à de hautes températures sont à circulation d'eau. L'interversion a lieu au moins toutes les deux heures ; en la faisant moins souvent, il y aurait une trop grande différence de température dans l'air entre le commencement et la fin du passage ; aussi dans les appareils usités fait-on l'interversion toutes les heures, afin de n'avoir qu'une différence de température d'environ 60°.

D'après M. Boistel, cet appareil contient 225mc de maçonnerie de briques réfractaires, ce qui fait 1mc,500 de briquetage et 18 à 20 mètres carrés de surface de chauffe pour un mètre cube d'air à chauffer par minute.

Cet appareil est d'un nettoyage extrêmement difficile, surtout quand les parois des gaînes sont faites en briques alternativement

saillantes et rentrantes, comme le veut l'auteur, pour créer des chicanes, et augmenter la surface de chauffe. La haute température qui règne dans la partie supérieure de l'empilage, la seule accessible, y scorifie les poussières amenées par les gaz, de sorte que toutes les trois semaines, le nettoyage, devenu alors nécessaire, ne peut s'effectuer que par la démolition d'une partie de l'empilage et sa reconstruction en briques neuves ; aussi, quand deux appareils suffisent au service, faut-il absolument en avoir un troisième de rechange pour les arrêts de nettoyage.

1913. Cet inconvénient, qui est aussi une cause de variation dans la chauffe, et par suite dans la température de l'air, a provoqué la disposition imaginée en 1865 par M. Whitwell, maître de forges à Stockton-on-Tees ; elle a pour objet de faciliter le nettoyage des surfaces de chauffe, elle est appliquée actuellement de préférence à la précédente. Pour obtenir le résultat proprosé, au lieu d'empilages à claire-voie, on a disposé dans la tour en tôle des murs droits et verticaux, parallèles entre eux, dans les intervalles desquels la flamme et l'air passent alternativement par une série de montées et de descentes successives. Il faut des appareils à jeu alternatif, comme dans la disposition Cowper. La figure 480 est une coupe verticale et la figure 481 une coupe horizontale, les flèches indiquent la circulation du gaz pendant la chauffe, *a* est la conduite du gaz, munie en *b* d'un registre qui, ouvert, livre le gaz par la baie *c* dans le premier compartiment *qq*, *q'q'* ; en *m*, *m*.., sont des caniveaux munis à l'intérieur d'un registre pour fournir l'air de la combustion ; la circulation des gaz brûlés se fait dans les neuf compartiments successifs *x*, *x*..., formés par les cloisons transversales qu'entre-toisent de distance en distance des cloisons perpendiculaires vues en plan ; les gaz sortent en *g* pour gagner, par le carneau *z*, la cheminée commune à un groupe d'appareils. En *k*, *k*, sont des tampons hermétiques, garantis par des briques *l*, *l*, pour le nettoyage ; en *d*, *d* d'autres tampons semblables situés sur un des côtés de la tour, au bas de chaque compartiment, servent également au nettoyage. Pendant la chauffe, les registres *u* et *e* sont fermés ; quand elle cesse, on ferme le registre *b* du gaz et on abaisse le registre *r* (à eau) qui interrompt la communication avec la cheminée ; cela fait, on ouvre le registre *e* qui amène le vent froid, et le registre (à eau) *u*, qui donne issue au vent chaud par les tuyères. La circulation du vent se fait dans un sens inverse de celle du gaz. Arrivé à la fin de la période de passage du vent, on ferme les registres *u* et *e* ; mais avant

d'ouvrir ceux des gaz, afin de donner une nouvelle chaude au four, il faut ouvrir une soupape pour y rétablir la pression atmosphérique.

Un appareil, qui chauffe à 700° ou 800°, 100^{mc} d'air par minute, a une hauteur de 0^{m},70 et un diamètre de 6^{m},70; il présente à peu près 1^{mc},50 de briquetage et 7^{mq},50 de surface de chauffe par mètre cube d'air à chauffer à la minute. Dans cet appareil la surface de chauffe rend plus que dans le précédent : cela tient principalement

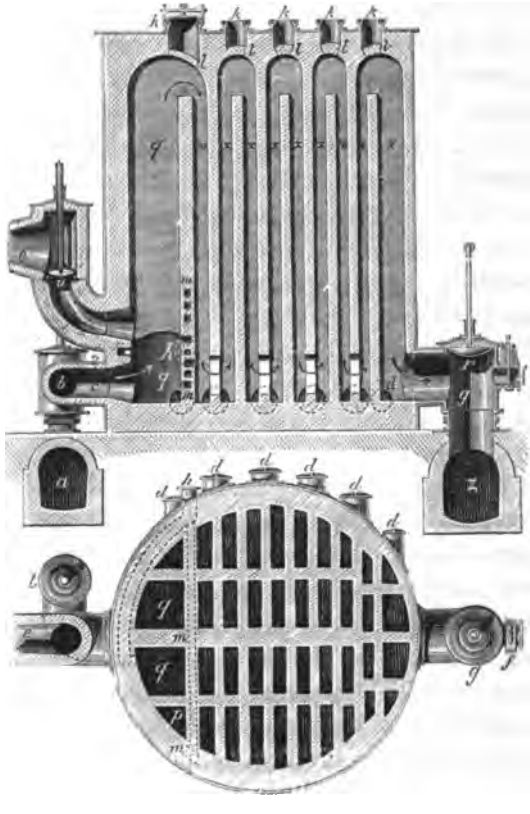


Fig. 480 et 481.

à ce que dans ce dernier ni le gaz ni l'air ne peuvent se répartir inégalement dans 80 ou 100 orifices d'une assez grande dimension qui sont offerts à leur passage, comme cela arrive dans les précédents.

Le nettoyage de l'appareil Whitwell s'opère par les baies munies de tampons *kk* et *dd;* mais ce nettoyage ne saurait s'exécuter en

marche; il faut attendre que l'appareil soit refroidi et l'opération, qui se fait toutes les trois ou quatre semaines, dure environ douze heures avec huit manœuvres; des appareils de rechange sont donc nécessaires. Aussi dans les installations les plus récentes, trouve-t-on quatre et même cinq appareils Whitwell ayant les dimensions indiquées plus haut pour un haut fourneau produisant de 50 à 60 tonnes par jour. Le fonctionnement d'un groupe de cinq appareils, par exemple, se règlerait ainsi : trois en chauffage par les gaz, un en chauffage du vent et un en nettoyage ; il y a trois heures de chauffage au gaz et une heure au vent; un pareil groupe nécessite une cheminée de 50^m de hauteur et de $2^m,50$ de diamètre au sommet ; un très-fort tirage est en effet exigé à cause des résistances nombreuses que rencontrent les gaz dans leur parcours à travers les appareils. Il est arrivé assez fréquemment que les tours en tôle se sont crevées parce qu'on n'avait pas tenu compte de la dilatation des briques. Des explosions aussi ont eu lieu, quand on n'avait pas pris soin de bien purger les carneaux de gaz, avant d'y introduire le vent, cette précaution est assez difficile à observer dans les appareils Whitwell.

1914. Les appareils en brique à interversion occupent beaucoup de place, ce qui force, dans les usines existantes surtout, à les éloigner des tuyères, de sorte que l'air échauffé ne peut arriver à ces dernières qu'avec un notable abaissement de température; les porte-vent sont en tôle et en fonte, mais revêtus à l'intérieur d'un rang de briques qui a $0^m,22$ d'épaisseur ; malgré ces précautions il y a encore une perte sensible de la température, surtout quand le parcours est un peu long.

1915. Dans les appareils Whitwell ou Cowper, les gaz et l'air à chauffer parcourent successivement les mêmes carneaux. Si, pour bien faire brûler les gaz, il est nécessaire de les faire cheminer dans des carneaux d'assez large section, c'est le contraire qui convient pour bien chauffer l'air. Cette considération a été l'origine de la disposition proposée par M. Laurens et qui consiste à employer des cloisons céramiques percées de nombreux petits canaux dans lesquels circule l'air à échauffer, ces cloisons formant parement dans les carneaux parcourus par les gaz et auxquels on peut alors donner toute la largeur convenable ; l'appareil serait encore double et à jeu alternatif à cause de la perméabilité des poteries ; mais l'air de filtration qui passerait dans les carneaux du gaz, serait, ou utilisé, ou maintenu stagnant dans ces carneaux au moyen d'un jeu de regis-

tres très-facile à concevoir; en joignant un parcours horizontal des gaz à ces dispositions qui diminueraient la quantité de briquetage employée actuellement, et en évitant les changements brusques de direction, on rendrait probablement inutiles les très-hautes cheminées actuellement employées.

1916. Le même ingénieur a proposé de n'employer les appareils céramiques que comme surchauffeurs de l'air qui aurait été préalablement porté à 300° environ dans un appareil à air chaud en fonte, distinct et disposé convenablement. On pourrait ainsi utiliser les appareils en fonte déjà installés dans les usines ; les surchauffeurs céramiques pourraient avoir une surface de chauffe bien moindre ; on chaufferait les appareils en fonte au moyen des gaz qui auraient préalablement circulé dans les appareils en briques.

1917. Le besoin de produire des températures élevées dans un grand nombre d'opérations industrielles a mené à chauffer non-seulement l'air de la combustion, mais encore le combustible lui-même. On espérait que l'excès de température ainsi obtenu s'ajouterait à la température de la combustion; d'autre part, un grand nombre des opérations dont il s'agit ne permettant pas l'utilisation méthodique de la chaleur, les produits de la combustion sortent des appareils à une température voisine de celle de la combustion elle-même; en utilisant ces produits à chauffer l'air et le combustible, on pensait pouvoir les porter ainsi avant leur action réciproque à une température presque égale à celle de la combustion et arriver ainsi à une élévation de température pour ainsi dire sans limite ou qui du moins ne serait limitée que par l'état plus ou moins réfractaire des matériaux employés à la construction des appareils. Nous avons vu ce qu'il y avait d'erroné dans cette supposition qui ne tenait pas compte de la dissociation des produits de la combustion. Quoi qu'il en soit, cet échauffement, combiné avec la transformation préalable du combustible en gaz, fournit le moyen d'obtenir les plus hautes températures dont l'industrie dispose actuellement.

1918. *Régénérateur Siemens.* — Il consiste en général en quatre chambres où se trouvent empilées des briques réfractaires disposées en chicane (*fig.* 482) de façon à augmenter autant que possible la surface de chauffe, deux de ces chambres servent à chauffer l'air, les deux autres servent à chauffer les gaz produits au moyen du gazogène Siemens que nous avons décrit précédemment (846) ; le chauffage est alternatif, les gaz brûlés qui sortent du four où s'est accomplie l'opération industrielle que l'on a en vue, se distribuent

dans deux des chambres où ils pénètrent par la partie supérieure ; ils cèdent leur chaleur aux briques et sortent à la partie inférieure de ces chambres pour se rendre dans une cheminée lorsqu'ils ont acquis une température inférieure à 150° ; on fait passer le courant des gaz brûlés jusqu'à ce que les briques de la partie supérieure de la chambre possèdent une température voisine de celle des gaz à l'arrivée ; quant aux couches basses de briques, leur température ne dépasse pas 100° ; on arrête alors le courant des gaz brûlés au moyen

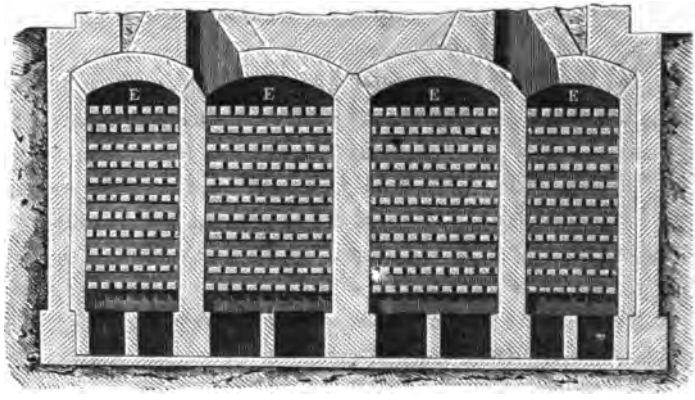


Fig. 482.

d'une valve disposée sur le conduit qui les amène, on change leur direction et on les envoie dans les deux autres chambres, qu'ils échauffent comme les deux premières. L'air et les gaz du gazogène sont alors envoyés séparément dans chacune des deux chambres échauffées pour aller par des conduits spéciaux se réunir dans le four à chauffer, où a lieu la combustion. Quand la seconde paire de chambres est chauffée à son tour, on envoie les gaz brûlés dans la première paire au moyen d'un mouvement de la valve en sens contraire du précédent et on dirige l'air et les gaz du gazogène séparément dans chacune des chambres de la seconde paire en faisant mouvoir un système de valves placées sur les canaux qui les amènent.

Ces renversements des courants gazeux se font toutes les heures ou toutes les demi-heures ; la régularité de la température obtenue est d'autant plus grande que ces renversements sont plus fréquents. Il y a d'ailleurs une perte de chaleur et de gaz à chaque renversement effectué, mais cette perte est faible. La température très-élevée qu'atteignent les briques placées dans les chambres des régénéra-

teurs exige que ces briques soient très-réfractaires ; on les fait au moyen de l'argile de Dinas (pays de Galles), qui est presque exclusivement composée de silice, on y ajoute, pour faire la pâte, 1 p. 100 de chaux et une quantité d'eau suffisante pour le moulage par pression. La chaux sert de lien à la cuisson. Les gaz du gazogène et ceux de la combustion arrivent dans les chambres plus ou moins chargés de poussière, il est donc nécessaire de recourir à des nettoyages plus ou moins fréquents ; à Saint-Gobain, ce nettoyage s'exécute, tous les six mois environ, en démolissant les empilages de briques qu'on remplace par d'autres; les briques enlevées sont ensuite nettoyées et triées et peuvent resservir en partie.

Quant aux dimensions à donner aux chambres, elles dépendent du volume que doivent avoir les empilages de briques : pour calculer ces données, il suffit de considérer que la chaleur spécifique des produits de la combustion de 1 kilogramme de houille est égale à environ 17 fois celle de la brique. En admettant que le renversement se fît toutes les heures, et en supposant un échauffement des briques égal au refroidissement des gaz, il faudrait, pour absorber la chaleur de ceux-ci, un poids de briques égal à 17 fois celui de la houille brûlée, mais cette hypothèse est fausse en ce que le surchauffement des briques est bien moindre et on emploie une quantité de briques égale à trois ou quatre fois celle qu'on obtient ainsi.

Quand nous nous sommes occupés des foyers à gaz, nous avons vu la nécessité qu'il y a, pour obtenir une bonne combustion, d'avoir toujours une certaine pression dans les fours. Cette pression est obtenue dans les appareils Siemens, de deux façons : 1° en faisant monter les gaz à la sortie du gazogène dans une cheminée de 0,50 à 0,80 de côté, et qui doit avoir au moins 4^{m},25 de hauteur, après quoi ces gaz circulent dans un tuyau horizontal en tôle, ayant au moins 6 mètres carrés de surface dans lequel ils se refroidissent ; un tuyau descendant amène les gaz froids dans les conduits distributeurs ; 2° en plaçant les régénérateurs à un niveau inférieur à celui du four. Ces régénérateurs forment alors cheminée et les gaz y prennent une vitesse qui se transforme en pression dans le four. Il résulte de là différents inconvénients inhérents à l'appareil Siemens, à savoir : la perte de chaleur due au refroidissement des gaz, la condensation des hydrocarbures dans ce refroidissement et enfin une grande difficulté de construction des fours dans le cas où les terrains sont aquifères.

1919. *Régénérateur Ponsard.* — Dans l'appareil Ponsard les gaz

venant du gazogène ne sont pas refroidis et montent directement dans le four ; l'air seul de la combustion est échauffé. Il est représenté figure 483 ; il est formé d'une seule chambre dans laquelle se trouvent disposées des cloisons verticales en terre réfractaire vues en coupe dans la figure. Ces cloisons laissent entre elles des intervalles parcourus en ordre alternatif par les gaz brûlés et par l'air à chauffer ; de telle sorte que les gaz brûlés arrivant par le haut dans une chambre *a* parcourent les intervalles *b*, pour s'échapper par le conduit inférieur *d ;* l'air froid arrive par les conduits *c* et s'échappe par le haut à travers les conduits *c'* ; pour augmenter la surface de chauffe les cloisons sont entretoisées par des briques creuses qui mettent en communication d'une part les intervalles où circule l'air, d'autre part, ceux où circulent les gaz brûlés ; l'échauffement des gaz est continu et méthodique. Les appareils Ponsard ne permettent pas d'atteindre des températures aussi élevées que les fours Siemens ; cela tient aux variations de compositions des gaz, et sans doute aussi au mélange probable des gaz brûlés avec l'air de la combustion à travers les fissures nombreuses qui doivent nécessairement se manifester dans les joints des briques.

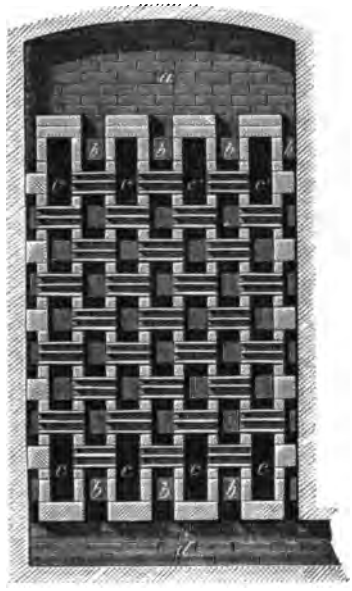


Fig. 483.

CHAPITRE IV

Calorifères chauffés par la chaleur perdue des fourneaux.

1920. Quand les foyers sont alimentés par des machines soufflantes, l'air brûlé peut être complétement refroidi, et on peut, à l'aide d'un calorifère convenablement disposé, faire passer toute la chaleur perdue dans l'air neuf ; mais il y a un accroissement de

résistance et, par conséquent, de travail, qui peut varier dans des limites très-étendues, suivant la disposition de l'appareil.

1921. Quand les foyers, toujours alimentés d'air par une machine, abandonnent l'air brûlé mêlé à des gaz combustibles, l'utilisation de la chaleur perdue exige nécessairement que la combustion soit rendue complète. C'est ce qui arrive pour les gaz qui s'échappent des hauts-fourneaux. Autrefois, on plaçait au gueulard des calorifères diversement disposés, qui étaient chauffés par la flamme qui s'y produit. Ces appareils présentaient de nombreux inconvénients, et la combustion était nécessairement incomplète. On emploie maintenant des appareils qui recueillent les gaz, les font descendre au niveau du sol, et les brûlent dans des foyers convenablement disposés ; on place le calorifère à la suite de ces foyers à gaz.

Lorsque les foyers sont alimentés d'air par une cheminée, il y a presque toujours un excès de tirage que l'on modère par un registre, et qui permet d'utiliser une partie de la chaleur perdue pour chauffer de l'air ; d'autant plus que, pour des excès de température de 150° à 400°, le tirage varie seulement dans le rapport des nombres 15 et 19 (543). Cependant il faut avoir soin de ne pas rétrécir sensiblement la section du canal et de ne pas produire trop de frottement.

1922. Le moyen le plus simple consisterait (*fig.* 484) à augmenter la hauteur d'une partie du canal qui conduit l'air brûlé à la cheminée.

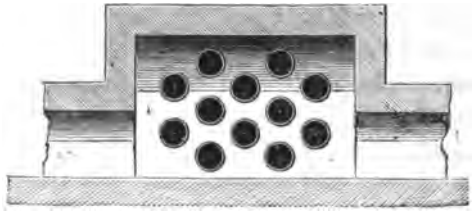


Fig. 484.

et à y placer des tuyaux de fonte ouverts par les deux bouts, qui traverseraient les murs opposés ; une des extrémités des tuyaux communiquerait avec l'air extérieur, et l'autre déboucherait dans une chambre, d'où l'air chaud serait ensuite conduit dans les lieux où il doit être utilisé.

1923. On pourrait aussi employer la disposition indiquée par la figure 486 : les tubes sont placés dans une chambre communiquant

avec la cheminée par une large ouverture ; un registre permet de faire circuler à volonté l'air brûlé à travers les tubes. Cette dernière circonstance pourrait facilement être réalisée dans le premier appareil, au moyen de deux canaux parallèles, dont l'un seulement renfermerait des tubes, et de registres qui forceraient l'air brûlé à passer dans l'un ou dans l'autre de ces canaux.

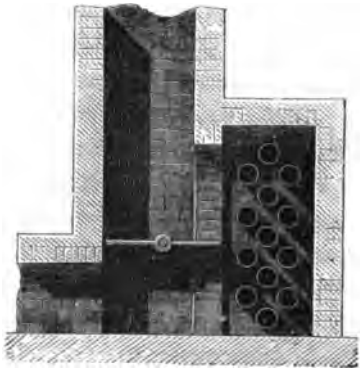


Fig. 485.

1924. M. René Duvoir a construit à Gisors un appareil destiné à utiliser la chaleur perdue des générateurs à vapeur. Il consiste en un canal horizontal en briques, divisé en trois étages par deux systèmes de plaques de fonte ; l'étage inférieur communique avec l'air extérieur ; le troisième reçoit l'air échauffé pour le conduire dans les séchoirs, et celui du milieu est divisé en deux parties, dans le sens de sa longueur, par des caisses en fonte qui s'ouvrent dans le premier et dans le troisième étage. La première partie reçoit l'air brûlé, la seconde le conduit à la cheminée, et chacune d'elles renferme, sur la face opposée aux caisses de fonte, une rangée de tuyaux verticaux en même métal, qui communiquent avec l'étage supérieur et l'étage inférieur. La surface de chauffe est de 72 mètres carrés pour 130^{k} de houille brûlés par heure dans les foyers des chaudières à vapeur. La fumée est reçue à 400°, et versée dans la cheminée à 200°.

CHAPITRE V

Chauffage de l'air par la vapeur.

1925. Les appareils de chauffage à vapeur consistent toujours, 1° en un générateur de vapeur avec tous ses accessoires ; 2° en tuyaux qui conduisent la vapeur dans les capacités où elle doit être condensée ; 3° en appareils de condensation ; 4° en tuyaux destinés à ramener à la chaudière l'eau qui provient de la condensation de la vapeur ou à l'évacuer au dehors. Dans le livre VII, nous avons donné tous les détails nécessaires sur la disposition des chaudières à vapeur, et, par

conséquent, nous n'avons rien à dire sur cet objet ; mais nous examinerons avec soin toutes les autres parties dont se compose un chauffage à vapeur.

1926. Ordinairement, les grands chauffages à vapeur ont lieu par des tuyaux parcourus par la vapeur et placés dans les salles qui doivent être échauffées ; plus rarement la vapeur se condense dans des vases de différentes formes également placés dans l'intérieur des pièces ; enfin, dans quelques circonstances, la vapeur est employée à chauffer l'air de ventilation. Nous nous occuperons successivement de ces trois espèces d'appareils.

1927. *Tuyaux de conduite de vapeur.* — Les tuyaux qui sont destinés à conduire la vapeur de la chaudière aux appareils de condensation, doivent être disposés de manière à n'occasionner eux-mêmes qu'une faible condensation ; on ne peut cependant employer que des métaux dans leur construction ; mais on les recouvre de matières qui transmettent difficilement la chaleur.

Différents moyens ont été proposés pour préserver les tuyaux du refroidissement, nous avons indiqué n° 1473 les principaux d'entre eux. Le moyen qui nous paraît le plus efficace consiste à placer, quand on le peut, les tuyaux dans des caisses renfermant une matière peu conductrice.

1928. Il faut éviter de donner aux tuyaux de conduite, sur une ou plusieurs parties de leur trajet, la forme d'un siphon renversé, parce que l'eau résultant de la vapeur condensée s'y accumulerait, et produirait une pression qui pourrait avoir des inconvénients. Dans le cas où l'on serait obligé d'employer cette forme, il faudrait prendre des dispositions pour enlever l'eau qui pourrait s'y accumuler.

1929. Le diamètre des tuyaux de conduite peut être déterminé au moyen des formules que nous avons données dans le livre II. La formule (464) donne la vitesse d'écoulement en supposant que la vapeur conserve la densité qu'elle avait dans le générateur, vitesse d'où l'on peut déduire le poids de vapeur écoulée, en faisant abstraction de la chaleur perdue dans le trajet. Mais la vapeur éprouve dans le chemin une détente qui augmente sa vitesse réelle ; on ne s'écartera pas beaucoup de la vérité en supposant que la détente soit complète, c'est-à-dire qu'à l'extrémité de la conduite la tension de la vapeur soit égale à celle de l'espace dans lequel elle se rend.

1930. Les tuyaux de conduite de vapeur et les tuyaux de condensation sont en fer ou en cuivre pour les petits tuyaux, et en fonte

pour les gros. Ceux de condensation sont plus généralement en fonte, quelquefois en cuivre, pour diminuer le nombre des joints et leur donner plus de légèreté. Les tuyaux en plomb et en zinc ne valent absolument rien pour ces deux usages.

1931. *Tuyaux de condensation.* — Les phénomènes qui se produisent dans un tuyau parcouru par la vapeur, et placé dans l'air, sont assez compliqués, mais pourtant faciles à reconnaître d'une manière générale. Considérons d'abord un tuyau cylindrique d'un petit diamètre, recevant de la vapeur par une extrémité, ouvert par l'autre, et un peu incliné, de manière à permettre l'écoulement des eaux de condensation. Si le tuyau a une longueur assez grande, et si la vapeur y pénètre avec une vitesse suffisante, la vapeur non condensée sortira complétement détendue, en même temps que l'eau de condensation ; mais si la quantité de vapeur qui arrive dans le tuyau est inférieure à celle qui pourrait être condensée par le contact de l'air et le rayonnement de la surface du tuyau, la vapeur ne pénétrera que dans une partie de la longueur du tuyau, dont le reste sera occupé par de l'air, que l'eau de condensation chauffera et saturera de vapeur ; et les variations dans la vitesse d'accès de la vapeur, ou dans la température de l'air ambiant, feront allonger ou raccourcir la colonne de vapeur : c'est ce qui s'observe facilement à l'extrémité du serpentin d'un alambic. Si le tuyau a une grande section, l'air se mêlera à la vapeur, du moins sur une partie de la longueur du tuyau, et la condensation pourra avoir lieu sur toute la longueur, mais en quantité décroissante, à partir de la section où l'air commence à se mêler avec la vapeur ; ceci aurait également lieu si l'orifice de sortie était rétréci. Si le tuyau avait été entièrement purgé d'air, et ensuite complétement fermé, et si la quantité de vapeur admise dans le tuyau était inférieure à celle qu'il peut condenser par son exposition à l'air, sa vapeur prendrait une tension décroissante d'une extrémité à l'autre du tuyau, et celle de l'extrémité la plus éloignée serait d'autant plus faible, pour le même tuyau, que la quantité de vapeur introduite serait plus petite : ainsi la quantité de chaleur émise par le tuyau irait en décroissant de l'une des extrémités à l'autre. Si une certaine quantité d'air entrait dans le tuyau, mêlé avec la vapeur, ce qui arrive toujours quand le générateur est alimenté par de l'eau aérée, cet air s'accumulerait d'abord contre la surface intérieure du tuyau, et serait entraîné vers son extrémité par le mouvement de la vapeur ; circonstances qui diminueraient beaucoup la quantité de chaleur transmise par le tuyau.

1932. La quantité de chaleur transmise à travers l'enveloppe d'une capacité remplie de vapeur est sensiblement indépendante de la nature et de l'épaisseur du métal; car, dans le chauffage à vapeur, comme la quantité de chaleur qu'émet l'autre surface, par le rayonnement et par le contact de l'air, est très-petite relativement à celle qui pourrait être transmise par la plaque métallique, il s'ensuit nécessairement que la surface extérieure est sensiblement à la température de la surface intérieure. Si le fluide qui mouille la surface intérieure des tuyaux et si l'air extérieur se renouvelaient avec une très-grande vitesse, il n'est pas douteux que l'influence de la nature et de l'épaisseur du métal ne se manifestât; mais il faudrait certainement que ces deux fluides se renouvelassent avec une prodigieuse vitesse, pour que les quantités de chaleur transmises fussent en raison inverse des épaisseurs des tuyaux, pour la même différence de température, à l'intérieur et à l'extérieur, et pour que, dans les mêmes circonstances, ces quantités de chaleur fussent proportionnelles aux facultés conductrices des matières qui forment les tuyaux.

1933. Nous avons vu (924) que, pour des tuyaux de fonte horizontaux ayant pour rayons

$0^m,05$, $0^m,10$, $0^m,15$,

les quantités de vapeurs condensées par mètre carré et par heure, en supposant la tension de la vapeur peu supérieure à celle de l'atmosphère et la température extérieure de 15°, sont

$1^k,50$, $1^k,44$, $1^k,34$.

On trouverait de même, par la formule du n° 923, que les poids de vapeur condensée par mètre carré et par heure, l'air extérieur étant toujours à 15°, pour des tuyaux de 0^m 05; 0^m 10 et 0^m 15 de diamètre, et pour des hauteurs de

1^m, 2^m, 3^m,

seraient de

$1^k,51$,	$1^k,45$,	$1^k,43$,
$1^k,48$,	$1^k,42$,	$1^k,40$,
$1^k,46$,	$1^k,41$,	$1^k,39$.

Si les tuyaux étaient en fer-blanc ou en cuivre poli, le poids de vapeur condensée serait à peu près deux fois plus petit; mais il

deviendrait un peu supérieur, si ces métaux étaient recouverts de papier.

1934. D'après des expériences faites par Tredgold sur le refroidissement de vases pleins d'eau exposés à l'air, et rapportées dans son ouvrage sur le chauffage, les quantités de vapeur condensées par heure et par mètre carré dans des tuyaux de différentes substances exposés à l'air libre à 15°, sont :

Pour le fer-blanc	$1^k,07$
— le verre	$1^k,76$
— la tôle neuve	$1^k,80$
— la tôle rouillée	$2^k,10$

D'après des expériences faites par Clément à une température de 25°, les quantités de vapeurs condensées sont :

Pour la fonte nue en tuyau horizontal	$1^k,600$
— la fonte noircie	$1^k,500$
— le cuivre nu en tuyau horizontal	$1^k,300$
— le cuivre noirci en tuyau horizontal	$1^k,500$
— le cuivre noirci en tuyau vertical	$1^k,750$

En ramenant ces nombres à une température extérieure de 15°, on trouve :

Pour la fonte nue en tuyau horizontal	$1^k,81$
— la fonte noircie en tuyau horizontal	$1^k,70$
— le cuivre nu en tuyau horizontal	$1^k,47$
— le cuivre noirci en tuyau horizontal	$1^k,70$
— le cuivre noirci en tuyau vertical	$1^k,98$

Les nombres obtenus par Tredgold sont beaucoup plus élevés que ceux qui résultent de mes expériences, parce que cet ingénieur n'a pas pris toutes les précautions nécessaires pour observer le refroidissement de l'eau chaude dans un vase ; précautions indispensables, à défaut desquelles on obtient des résultats qui peuvent varier dans des limites très-étendues. Lorsqu'on observe, à l'air libre, la présence de l'expérimentateur, les mouvements qu'il produit dans l'air peuvent augmenter de beaucoup la vitesse qu'on trouverait dans une enceinte où les mouvements de l'air proviendraient uniquement de son échauffement. En outre, et pour toutes les espèces de surfaces, les quantités de chaleur émises varient, avec la forme des vases, leurs dimensions et leurs positions. Cependant le rapport entre les

quantités de vapeurs condensées par le fer-blanc et la tôle rouillée est, dans Tredgold, à peu près ce qu'il devait être.

1935. Dans les expériences de Clément, il manque divers éléments assez importants : la température de la vapeur, les rayons des tuyaux, et, en outre, la hauteur pour ceux qui étaient verticaux. En admettant, pour le premier résultat, la vapeur à 100°, un rayon de $0^m,10$ qui se rencontre assez ordinairement, la quantité de vapeur condensée excéderait celle qui résulte de mes expériences, à peu près de 1/6 ou de 0,17 ; la différence pourrait être attribuée à la quantité d'eau entraînée mécaniquement ; car, dans les expériences dont il est question, la quantité de vapeur condensée se déduirait de celle de l'eau écoulée. La seconde expérience, qui est relative à un tuyau de fonte horizontal noirci, indique une condensation plus petite que lorsque la surface du tuyau était à son état naturel ; ce résultat, qui paraît singulier, ne peut pas résulter de la faible conductibilité de l'enduit ; il provient probablement de ce que la surface de la fonte, qui est très-irrégulière à cause des aspérités, était devenue plus régulière par l'enduit, et que la surface rayonnante avait réellement diminué. Les deux premières expériences, faites sur un tuyau de cuivre horizontal, prouvent que le cuivre nu était oxydé ; car s'il eût été brillant, la quantité de chaleur émise aurait été à peu près la moitié de celle qu'on a observée pour le cuivre noirci.

1936. Voici enfin les résultats de deux expériences faites dans deux fabriques chauffées à la vapeur, l'une par des tuyaux de fonte, et l'autre par des tuyaux de cuivre, en grande partie horizontaux, et de $0^m,10$ de rayon ; les tuyaux de cuivre étaient fortement oxydés. Dans la première, un chauffage de 11 heures, par 253^{mq} de surface de fonte, a produit 4950 litres d'eau de condensation, ce qui correspond à $1^k,77$ par heure et par mètre carré ; dans l'autre, par un chauffage de $9^h,12'$, une surface de $136^{mq},2$ de tuyaux de cuivre a fourni 2214 litres d'eau de condensation, ce qui correspond à $1^k,75$ de vapeur condensée par mètre carré et par heure. Le nombre relatif à la fonte se rapproche plus de mes expériences que ceux de Clément. La différence peut s'expliquer en admettant qu'il y avait 0,15 d'eau entraînée mécaniquement par la vapeur, nombre qui est bien souvent dépassé. Quant aux tuyaux de cuivre, si leur surface avait été parfaitement terne, l'effet produit aurait dû dépasser celui de la fonte.

Malgré les résultats que je viens de rapporter, je pense que ceux que j'ai obtenus, dans des circonstances exemptes des causes d'er-

reur que j'ai signalées, présentent beaucoup plus de certitude, et doivent être adoptés de préférence.

1937. Le diamètre des tuyaux de condensation n'est pas entièrement arbitraire ; car il faut que l'air soit expulsé des tuyaux le plus promptement et le plus complétement possible, attendu que l'air, même en petite quantité, mêlé avec la vapeur, en ralentit beaucoup la condensation. Or, l'évacuation de l'air est très-difficile et très-lente quand les tuyaux ont un grand diamètre ; quand, au contraire, les tuyaux ont un diamètre très-petit, leur longueur pour la même surface est très-grande, et les frottements ralentissent la marche de la vapeur, consomment une partie de sa pression dans la chaudière, et produisent une détente qui abaisse sa température. Ainsi il faut éviter d'employer des tuyaux d'un trop grand ou d'un trop petit diamètre. Les diamètres varient ordinairement de $0^m,07$ à $0^m,20$. Les grands tuyaux ont 2^m à $2^m,50$ de longueur ; $0^m,20$ de diamètre intérieur ; $0^m,02$ d'épaisseur.

1938. Si l'on voulait que les tuyaux, après la cessation du feu, donnassent de la chaleur pendant plusieurs heures encore, il faudrait laisser séjourner de l'eau dans leur intérieur, en plaçant les tuyaux horizontalement, et les tubes de retour d'eau à une certaine hauteur. Mais l'eau ne prend qu'une température très-inférieure à celle de la vapeur, parce que ce liquide conduit mal la chaleur de haut en bas, et que celle qui est transmise par le tuyau lui-même est en grande partie dissipée par sa surface. Il serait bien plus avantageux d'avoir des réservoirs d'eau chauffés en dessous par la vapeur, ou bien par des serpentins.

1939. D'après les nombres que nous avons rapportés précédemment, sur les quantités de chaleur qu'émettent les tuyaux chauffés par la vapeur et exposés librement à l'air, on pourra calculer la surface qu'on doit leur donner pour chauffer une pièce avec ou sans ventilation, quand on connaîtra la quantité maximum d'unités de chaleur que les murailles et les vitres perdent dans une heure.

1940. Les tuyaux de fonte sont ordinairement terminés par des rebords qu'on désigne sous le nom de *brides* ou *collets*, percés d'un certain nombre de trous également distants, destinés à recevoir des boulons. Pour des tuyaux de $0^m,20$, les boulons sont au nombre de sept ou huit. Quelquefois on emploie des tuyaux de fonte terminés à un bout par un renflement, dans lequel pénètre l'extrémité du tuyau avec lequel il doit être réuni. Ce système, qui exige en outre un masticage, porte le nom de *joint à emboîtement*.

1941. Le masticage nécessaire pour éviter toute fuite se fait avec du mastic de fonte que l'on tasse dans l'espace annulaire qui sépare les deux parties qui se pénètrent; pour que le joint soit solide et que le mastic ne quitte pas les surfaces de fonte, par les mouvements qui proviennent des variations de température, on donne à la partie du tuyau qui doit recevoir l'extrémité de l'autre, un diamètre un peu plus grand au fond qu'à l'extrémité. Ce mode d'ajustage a l'inconvénient de faire quelquefois éclater le tuyau enveloppant par la grande dilatation qu'éprouve le mastic en se solidifiant; on évite cet accident en laissant peu d'intervalle entre les parties réunies, et en donnant par conséquent peu d'épaisseur à la couche de mastic. Pour les conduites d'eau, les joints des tuyaux à emboîtement se font avec du plomb; mais cette méthode ne convient pas pour les tuyaux à vapeur, les joints perdraient promptement.

1942. Ordinairement on réunit les tuyaux par d'autres méthodes plus simples et plus expéditives, qui toutes se réduisent à placer entre les collets des rondelles plus ou moins compressibles, que l'on serre fortement par des boulons.

1943. Lorsque les joints doivent être défaits de temps en temps, on emploie des étoupes tressées qui ont été plongées dans du suif fondu. Pour les joints qui ne doivent pas être défaits, on se sert fréquemment de plaques de plomb de 3 à 5 millimètres d'épaisseur, rayées sur les deux faces et recouvertes de mastic rouge (mélange de céruse, d'huile de lin et de minium); ce mastic durcit assez promptement et adhère très-bien aux métaux. Quelquefois les faces des collets sont tournées et rayées circulairement. On se borne souvent à employer des anneaux de toile très-forte, ou de carton, recouverts d'une couche épaisse de mastic rouge. Les joints au mastic rouge ont l'inconvénient de donner pendant assez longtemps une odeur désagréable. On fait aussi des joints sans enduit, en tournant les faces des collets et plaçant entre eux un anneau formé d'un fil de cuivre rouge de 1 à 2 millimètres de diamètre: ce joint, quand il est bien fait, est préférable à tous les autres. Lorsque les collets ont été tournés, on peut les réunir en mettant seulement entre eux une feuille de papier épaisse, mouillée avec une dissolution de sel marin. Le métal s'oxyde promptement, et le joint devient étanche et très-solide.

1944. On fait, depuis un certain nombre d'années, les joints des tuyaux avec des rondelles de caoutchouc vulcanisé; cette matière, quand elle est de bonne qualité, peut être employée avec sécurité et donne de bons joints en permettant un démontage facile.

1945. Quand les tuyaux sont destinés à supporter des pressions très-considérables, on les fait en fer étiré, et, pour les assembler, on termine l'un par une surface plane, l'autre par un biseau, et on serre fortement au moyen d'un écrou roulant de manière que les deux tuyaux se pénètrent.

Nous donnerons plus loin une description plus complète de cet assemblage.

1946. Les petits tuyaux qui servent à conduire la vapeur dans les tuyaux de condensation sont presque toujours réunis par des collets à boulons. Quand ils sont en cuivre, ils sont garnis de brides en fer, soudés à la soudure forte ; quelquefois ils ont des collets en cuivre mince, qui sont serrés l'un contre l'autre par des rondelles libres en fonte ou en fer. Quand ces tuyaux sont d'un très-petit diamètre, on les ajuste par des vis ou des écrous roulants.

Les tuyaux de cuivre sont toujours soudés à la soudure forte. Dans aucun cas il ne faut employer la soudure d'étain, parce que l'inégale dilatation des métaux les sépare promptement et fait perdre les joints.

1947. Souvent les petits tuyaux sont suspendus au plafond des pièces, par de simples fils de fer fixés à des pitons. Mais le mode de suspension indiqué dans la figure 486 est bien préférable ; car, au moyen de l'écrou *m*, on peut facilement raccourcir ou allonger la suspension.

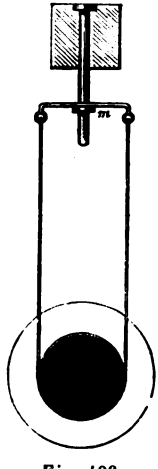


Fig. 486.

1948. Lorsque dans les pièces se trouvent des poteaux très-rapprochés, on supporte souvent les tuyaux par la disposition indiquée dans la figure 487.

Fig. 487.

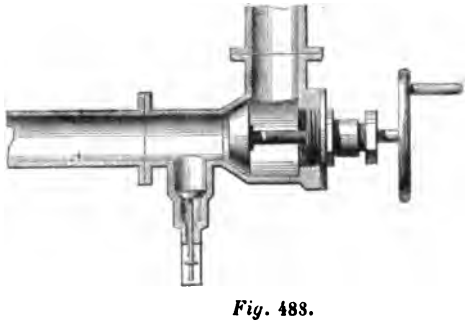


Fig. 488.

1949. *Robinets.* — Tous les robinets doivent être en bronze, et pour

les gros diamètres de $0^m,04$ et plus, il convient de les remplacer par des soupapes.

1950. La figure 488 est une coupe d'une soupape se manœuvrant au moyen d'une manivelle qui fait mouvoir dans une boîte à étoupe la tige taraudée de la soupape; à côté se trouve une soupape à air, ou reniflard.

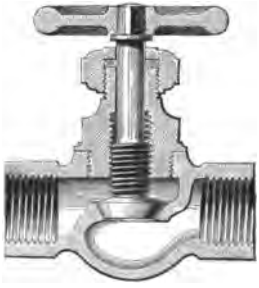


Fig. 489.

1951. La figure 489 représente une soupape, importée d'Amérique, qui est maintenant très-employée. Elle a l'avantage de permettre de conserver au tuyau une direction rectiligne. La tige de la soupape traverse, comme dans la disposition précédente, une boîte à étoupes.

1952. La figure 490 représente une autre soupape dite *Peet Valve*, dans laquelle la fermeture s'opère au moyen de deux disques A, serrés par un coin B, quand on abaisse la valve. Cette disposition a l'avantage de ne point produire un changement brusque de direction, ni de section pour le passage de la vapeur.

Fig. 490.

1953. *Compensateurs.* — Quelle que soit la nature des tuyaux de conduite et de condensation, les variations de température qu'ils éprouvent produisant des variations dans leur longueur, ils doivent être disposés de manière à ce que ces mouvements puissent se faire facilement. Par conséquent ils ne doivent point être fixés par les deux bouts à des parties immobiles des bâtiments, car la force avec laquelle les métaux tendent à se dilater et à se contracter étant très-grande, les tuyaux renverseraient les obstacles s'opposant à leurs mouvements, ou se briseraient eux-mêmes s'ils n'étaient pas élastiques. L'allongement que prennent les tuyaux, lorsqu'ils sont chauffés à 100°, est assez considérable; car le coefficient de dilatation de la fonte étant de 0,0011, 10 mètres s'allongent de $0^m,011$ et 100 mètres de $0^m,11$. Si tout le circuit était en fonte, et horizontal, on obvierait aux effets de la dilatation, en suspendant librement tous les tuyaux et en n'en fixant aucune partie. Mais il y a toujours des parties verticales qui, en s'allongeant soulèveraient les parties horizontales contiguës, lesquelles, ne portant plus sur leurs supports, pourraient se briser. Ainsi dans presque tous les cas, il est indispensable de dis-

poser certaines parties du circuit de manière qu'il puisse facilement, sans produire d'accidents, obéir aux efforts de la dilatation. On emploie pour cela deux dispositions différentes : des tuyaux de cuivre d'un petit diamètre et fortement courbés, dont la courbure peut changer facilement, souvent et longtemps, sans que le métal se déchire, et des tuyaux d'un grand diamètre, qui se pénètrent et qui peuvent entrer plus ou moins les uns dans les autres à l'aide de stuffing-box.

1954. Les compensateurs de cuivre ont toujours un petit diamètre, et ils sont pliés de manière que leur longueur soit quatre à cinq fois plus grande que la plus courte distance de leurs extrémités. Si, par exemple, un tuyau de conduite vertical devait distribuer simultanément de la vapeur dans des tuyaux de chauffage placés à différents étages, on fixerait le tuyau vertical à sa partie inférieure, l'autre extrémité serait libre ; les tuyaux de chauffage seraient fermés à chaque extrémité, et la vapeur serait admise dans chacun d'eux, au moyen d'un tube de cuivre d'un petit diamètre, qui, partant du tuyau vertical, s'élèverait à une certaine hauteur, et descendrait ensuite pour communiquer avec le tuyau condensateur. Si les

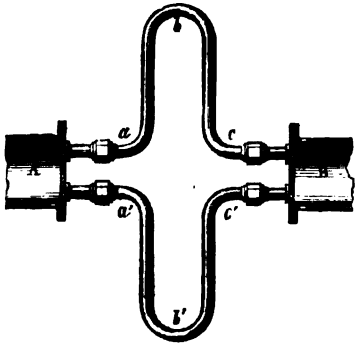


Fig. 491.

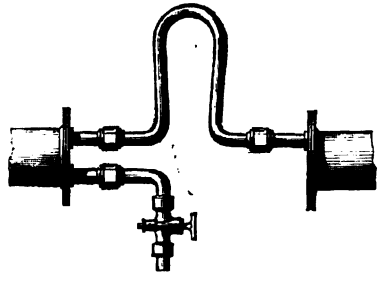


Fig. 492.

deux extrémités d'une série horizontale et rectiligne de tuyaux étaient fixées aux murailles d'un bâtiment, il faudrait interrompre la conduite dans une certaine étendue, fermer les bouts des tuyaux en regard A et B (*fig.* 491), et faire communiquer leurs parties supérieures par un tube recourbé *abc*, et leurs parties inférieures par un tube de même forme *a'b'c'* ; le premier serait destiné à faire passer la vapeur, le second l'eau de condensation, de la première partie du tuyau dans la seconde. Si l'on ne plaçait qu'un seul tuyau *abc*,

il faudrait faire écouler par un tube particulier l'eau de condensation de l'une des parties (*fig.* 492).

1955. On ne pourrait pas remplacer les tuyaux de cuivre par des tuyaux de plomb, parce que les petits mouvements que ceux-ci éprouveraient les auraient bientôt déchirés. L'expérience en a été faite à Paris, dans un grand chauffage à vapeur ; les compensateurs en plomb ont été déchirés en peu de temps. A la vérité les tuyaux étaient courts et d'un gros diamètre ; mais il n'est pas douteux que le même effet ne se fût produit, peut-être seulement après un temps plus long, si les tuyaux avaient eu une plus grande longueur et un plus petit diamètre.

1956. Quand on ne peut pas employer les dispositions dont nous venons de parler, il faut se servir de celle qui est indiquée par les figures 493 et 494. Un des tuyaux est alésé sur une partie de sa

Fig. 493.

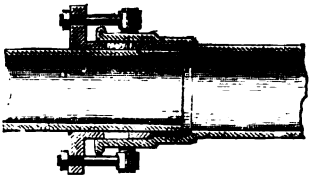


Fig. 494.

longueur, qui pénètre, à travers une boîte à étoupe, dans un renflement de l'autre : par les variations de température, le tuyau intérieur glisse dans la boîte. Ce compensateur a été employé dans le chauffage de la Bourse, et appliqué à des tuyaux de fonte d'un grand diamètre ; il fonctionne bien, quand on a soin de graisser les étoupes de temps en temps ; mais des compensateurs qu'on avait entièrement négligés ont cessé de fonctionner, et la dilatation des tuyaux a brisé de grandes bâches de fonte placées à leurs extrémités et auxquelles ils étaient fixés. Pour éviter cet inconvénient, M. Talabot a remplacé chacun des grands compensateurs en fonte par deux plus petits en cuivre (*fig.* 495), placés l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure des tuyaux. Le premier est destiné à établir la communication de la vapeur entre les deux tuyaux ; le second, celle de l'eau de condensation.

1957. M. Bourdon a construit, pour un autre usage, de petits appareils en cuivre mince embouti, qui, dans quelques cas exceptionnels, pourraient servir comme compensateurs. Ils sont formés

(*fig.* 496) d'une série de troncs de cônes égaux réunis alternativement par leurs petites et leurs grandes bases ; ils sont très-flexibles, et leur longueur peut varier du simple au double.

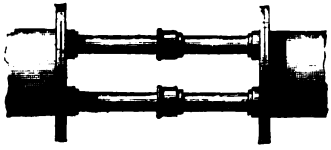


Fig. 495.

Fig. 496.

1958. On emploie fréquemment pour les grandes conduites un compensateur qui rappelle celui de M. Bourdon par son principe. Il est représenté figure 497 ; il est formé d'un faisceau de disques élastiques en tôle douce et dont le nombre se détermine par la longueur de la conduite.

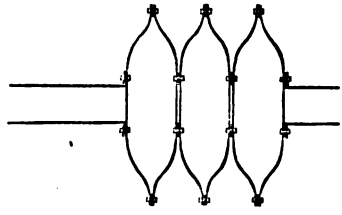


Fig. 497.

1959. De quelque manière que les compensateurs soient disposés, ils compliquent toujours les appareils, ils sont d'un prix assez élevé, et il est par conséquent important de chercher à en diminuer le nombre autant que possible, ou même à les éviter.

Dans beaucoup de chauffages à vapeur, quand les tuyaux ont une petite longueur, on n'emploie point de compensateur ; on compte sur l'élasticité du métal pour éviter les fractures. Par exemple, lorsqu'un tuyau de fonte vertical distribue de la vapeur à des tuyaux horizontaux, souvent ces derniers sont directement embranchés sur le tuyau vertical, et les tuyaux horizontaux sont suspendus et entièrement libres à leur extrémité. Il résulte de là que les parties des tuyaux horizontaux voisines de l'embranchement sont soulevées quand le métal est échauffé, que les tuyaux se courbent et qu'ils ne portent qu'à une certaine distance de leurs supports. Cette disposition est sans inconvénient, quand il n'y a qu'un ou deux étages à chauffer, c'est-à-dire quand le tuyau vertical n'a que 6 à 7 mètres de longueur ; au delà, il serait dangereux de l'employer. On peut également éviter les compensateurs, quand les tuyaux sont librement suspendus dans une pièce et peuvent se mouvoir sans obstacles dans divers

sens. C'est ce à quoi on arrive en disposant les tuyaux en parties aussi longues que possible, chacune d'elles étant formée de parties rectilignes formant une ligne brisée; ces différentes portions sont réunies par des courbes de grand rayon. On obtient ainsi une flexibilité du tuyau qui rend l'action de la dilatation sans inconvénients. D'ailleurs, dans tous les cas qui se présenteront, le calcul de l'effet produit par la dilatation fera facilement connaître s'il est indispensable d'employer des compensateurs.

1960. *Souffleurs.* — On désigne ainsi de petits tubes garnis de robinets, placés aux extrémités des grandes lignes de tuyaux de chauffage, et destinés à expulser l'air qui remplit les tuyaux lors de l'arrivée de la vapeur. Les souffleurs sont toujours placés à la partie supérieure des tuyaux (*fig.* 498), et conduisent l'air au dehors. Dans les petits appareils, les souffleurs se composent simplement d'une vis fixée sur une des faces du vase de condensation, et renfermant un canal intérieur, qui débouche latéralement près de la tête de la vis. On ouvre les robinets des souffleurs au commencement du chauffage, et on les ferme quand ils commencent à laisser dégager de la vapeur. On est cependant obligé de les ouvrir de temps en temps pendant le chauffage, pour laisser dégager l'air qui s'est accumulé dans les tuyaux ; quelquefois même on est obligé de les laisser constamment ouverts : ce dernier cas se présente surtout quand les tuyaux sont d'un grand diamètre.

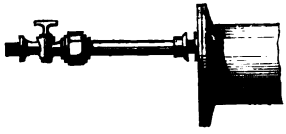


Fig. 498.

1961. Il est facile de se rendre compte de la nécessité d'expulser l'air des apppareils au commencement du chauffage, et d'ouvrir de temps en temps les souffleurs pendant l'opération, ainsi que des circonstances qui peuvent rendre nécessaire leur ouverture permanente. Supposons les tuyaux pleins d'air, fermés et communiquant avec une chaudière à vapeur ; la vapeur se propagera lentement dans la masse d'air des tuyaux, et ne se condensera qu'en petite quantité. Mais si les tuyaux sont d'un petit diamètre et si l'on ouvre un orifice à leur extrémité, l'air sera chassé par la vapeur comme par un piston, et quand la vapeur commencera à sortir à l'autre extrémité, tout l'air aura été expulsé : alors, en fermant l'orifice, la vapeur se condensera sans obstacle contre les parois des tuyaux ; et s'il n'arrivait pas d'air avec la vapeur, le souffleur pourrait rester fermé pendant toute la durée du chauffage, sans que la condensation fût ralentie. Mais, comme l'eau d'alimentation, à moins qu'elle ne provienne de

l'eau de condensation introduite très-chaude dans la chaudière, renferme toujours de l'air, on est obligé d'ouvrir le souffleur de temps en temps pour faire dégager celui qui s'est accumulé. Supposons maintenant que le tuyau ait un grand diamètre. Au commencement du chauffage, la vapeur se mêlera à l'air; et il faudra laisser le souffleur ouvert assez longtemps après l'apparition de la vapeur, pour expulser la totalité de l'air que renfermait le tuyau ; si les joints ne sont pas parfaitement étanches, comme il y a un appel considérable à l'extrémité du tuyau où la veine de vapeur pénètre dans un conduit d'un diamètre beaucoup plus grand, l'air entrera par les fissures des joints, et nécessitera l'ouverture permanente du souffleur, autrement la quantité de vapeur condensée serait très-petite.

1962. *Soupapes à air ou Reniflards.*— Lorsqu'on emploie des tuyaux de cuivre pour surfaces de chauffe, comme le métal a peu d'épaisseur, et par conséquent peu de résistance, les tuyaux s'écraseraient par une condensation subite de la vapeur provenant d'un ralentissement dans l'activité du foyer, de la fermeture du robinet d'admission ou de toute autre cause imprévue. Pour éviter cet accident, on place sur les tuyaux, de distance en distance, des soupapes qui s'ouvrent par un petit excès de la pression extérieure sur la pression intérieure. Ces soupapes peuvent être disposées d'une infinité de manières différentes : la plus simple consiste en une soupape intérieure maintenue sur son siége par un ressort à boudin très-faible.

1963. *Écoulement de l'eau de condensation de la vapeur.* — Dans quelques cas, on pourrait faire revenir directement à la chaudière, et par le même chemin que suit la vapeur, mais en sens contraire, l'eau qui résulte de la condensation; mais il faudrait pour cela, comme nous l'avons dit à propos de l'évaporation, que la vapeur eût dans tout son cours une marche ascendante, et que les tuyaux conducteurs eussent un grand diamètre, afin que les mouvements opposés de la vapeur et de l'eau ne se gênassent pas l'un l'autre. On pourrait aussi faire revenir l'eau de condensation à la chaudière par un canal distinct, pourvu d'une soupape qui s'opposât à l'ascension de l'eau de la chaudière dans les vases de condensation (1624) ; mais l'eau ne rentrerait dans la chaudière qu'à la condition que la pression résultant de la hauteur de la colonne d'eau et de la tension de la vapeur à l'extrémité de la conduite excéderait celle de la vapeur dans la chaudière. Il vaut mieux faire écouler l'eau de condensation dans la bâche d'alimentation, d'où elle est envoyée dans la chaudière par un des moyens que nous avons décrits dans

le livre VII ; on conçoit dès lors que c'est par un canal distinct de celui de la vapeur que cet écoulement doit se faire.

1964. Dans tous les appareils de chauffage à vapeur, l'étendue de la surface de condensation, la section du canal d'écoulement de la vapeur et les dimensions du générateur sont toujours déterminées de manière que, dans les parties les plus éloignées des tuyaux de condensation, la tension de la vapeur excède toujours la pression de l'atmosphère ; car c'est à cette condition qu'on parvient, au commencement du chauffage, à faire sortir tout l'air des tuyaux. Ainsi, pour évacuer l'eau de condensation, il suffit de placer, dans les parties de l'appareil où elle s'accumule, des tuyaux garnis de robinets qu'on ouvre de manière à ce qu'ils laissent écouler, dans un certain temps, un volume d'eau sensiblement égal à celui qui se produit.

Fig. 499.

1965. Les tubes d'écoulement ont ordinairement la forme d'un siphon renversé ; l'une des extrémités communique avec la partie inférieure du vase de condensation, et l'autre débouche dans une bâche. Cette disposition a pour objet d'éviter la sortie de la vapeur par un petit accroissement de pression intérieure, et la rentrée de l'air par une diminution de tension qui rendrait la force élastique de la vapeur plus petite que celle de l'atmosphère ; circonstances qui peuvent se produire par la seule variation d'intensité du foyer.

1966. On a cherché à déterminer un écoulement régulier de l'eau de retour, sans perte de vapeur, et sans qu'on fût forcé de manœuvrer les appareils à la main ; on se sert pour cela de *purgeurs automatiques* qu'on place sur le tuyau de retour ; ces appareils se règlent d'eux-mêmes. L'appareil décrit n° 1626 et représenté fig. 364, peut être considéré comme un purgeur automatique.

1967. Le purgeur Vaughan et Stubbs (fig. 499) se compose de deux tubes B et D, le premier en cuivre, le second en fer, tous les deux fixés à la boule F qui est réunie à la conduite qu'il s'agit de purger ; le tube D est fixé par la partie inférieure F à une boîte E dans laquelle l'extrémité inférieure du tube B pénètre à frottement doux ; une sou-

pape C ferme l'extrémité du tube B quand ce tube est plein de vapeur; lorsque l'eau s'y accumule, sa température s'abaisse, il se contracte et son extrémité ne repose plus sur la soupape : il en résulte une issue par laquelle l'eau s'écoule lentement, mais le tube se réchauffant par la présence de la vapeur, l'allongement se produit de nouveau, et ainsi de suite. Cet appareil présente évidemment cet inconvénient, que la dilatation et la contraction successives du tube amènent bientôt un changement de longueur de ce tube; il est vrai qu'on peut remonter la soupape au moyen de la manivelle H, ce qui permet de régler l'écoulement; mais le changement de longueur du tube doit être aussi accompagné d'une déformation d'où il peut résulter que le tube et la soupape peuvent n'avoir plus au bout d'un certain temps qu'un fonctionnement imparfait.

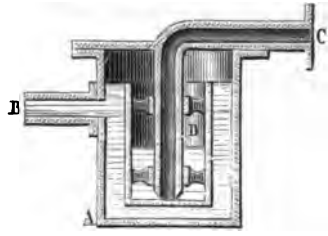


Fig. 500.

1968. Le ballon allemand (fig. 500), employé surtout dans les fabriques de sucre, pour les retours d'eau des chaudières à cuire dans le vide, se compose d'une caisse A cylindrique, qui reçoit un tuyau B en communication avec l'appareil à purger et le tuyau C de purge; ce dernier se recourbe verticalement dans l'axe de la caisse et se termine à une petite distance du fond où il s'appuie sur le fond d'un cylindre D ouvert par le haut et muni de guides que traverse le tuyau de purge. Cela posé, l'eau de condensation vient d'abord remplir l'espace annulaire laissé entre les deux cylindres et soulève le cylindre D qui, flottant, vient fermer l'extrémité du tuyau de purge, puis l'eau s'accumulant passe par-dessus le bord supérieur du cylindre D, tombe dans ce cylindre dont elle augmente le poids; quand ce cylindre est presque plein, il redescend en vertu de son poids et l'orifice ouvert du tuyau de purge laisse passer l'eau de retour; le cylindre D, étant ainsi délesté, remonte, referme l'orifice du tuyau, et ainsi de suite.

1969. Le purgeur automatique de MM. Geneste fils et Herscher frères, est plus spécialement employé pour le cas des chauffages à vapeur; il est représenté figure 501 : dans une boîte en fonte se trouvent un flotteur C et un contre-poids D placés aux extrémités d'une tige fixée sur un arbre horizontal; cet arbre porte un pignon qui engrène avec une crémaillère à l'extrémité de laquelle est fixé un tiroir E qui démasque un orifice de sortie B; l'appareil se réunit en A

à la conduite de vapeur; quand l'eau monte dans la boîte, elle produit sur C une poussée qui fait ouvrir le tiroir, alors le niveau descend, et le poids P descend avec lui et referme le tiroir.

1970. Il est toujours avantageux de se servir, autant qu'on le peut, des eaux de retour pour l'alimentation de la chaudière; car, non-seulement on utilise la chaleur que renferme cette eau, mais on évite encore les dépôts qui se forment toujours quand on emploie de l'eau qui n'a pas été distillée, dépôts qui exigent des nettoyages fréquents et qui produisent une altération rapide des chaudières. Maintenant, dans les grands chauffages, de petites machines à vapeur spéciales sont préférées aux autres modes d'alimentation.

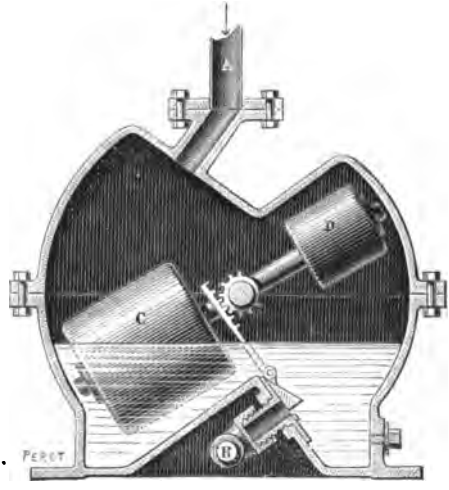


Fig. 501.

1971. Il est bon, autant que possible, de faire circuler la vapeur dans le même sens que l'eau de condensation et, pour cela, de distribuer les pentes de telle façon que la vapeur aille en descendant dans les tuyaux de conduite; cette disposition facilite l'écoulement de l'eau.

1972. *Régulateurs de pression.* — Dans un grand nombre d'industries où le chauffage s'exécute à la vapeur, il est nécessaire d'obtenir dans les appareils chauffés une pression et par suite une température constante, quelle que soit la pression dans le générateur. Cette condition est tout aussi indispensable à remplir lorsqu'il s'agit du chauffage de l'air, et chacun des appareils qu'il s'agit de chauffer doit être dans les mêmes conditions par rapport à la vapeur, quelle qu'en soit la distance au générateur. On emploie dans ces différents cas des appareils qui ont pour effet de maintenir la pression de la vapeur constante et qu'on nomme *régulateurs ou détendeurs de pression.*

1973. Le régulateur de M. Rolland consiste en un récipient posé sur la conduite et dans lequel l'arrivée de la vapeur se fait par un tube supérieur percé d'orifices latéraux; à la partie supérieure du

récipient se trouve une boîte renfermant du mercure ; un siphon part du fond de cette boîte et se recourbe en remontant à une certaine hauteur suffisante pour que la colonne de mercure qui peut s'y former puisse faire équilibre à l'excès de la pression de la vapeur dans le récipient sur la pression atmosphérique ; un flotteur placé sur le mercure fait monter ou descendre une tige qui actionne un tiroir ; celui-ci ouvre ou ferme plus ou moins les ouvertures d'arrivée de la vapeur ; avec cet appareil les variations de pression de la vapeur ne s'élèvent pas à plus de 0,15 d'atmosphère.

1974. Le régulateur Tulpin consiste en un tuyau quatre fois courbé à angle droit qui se fixe par une de ses extrémités sur la conduite à la suite de la valve de détente ; l'autre extrémité est élargie et porte entre deux brides une rondelle de caoutchouc sur laquelle repose un piston qui fait agir le levier d'une valve, laquelle s'ouvre plus ou moins suivant que la pression s'abaisse ou s'élève.

1975. Dans l'appareil de MM. Wadsworth et James Eastwood, la valve est formée d'une double soupape équilibrée réunie par une tige à un piston qui glisse dans un cylindre vertical fixé à la conduite ;

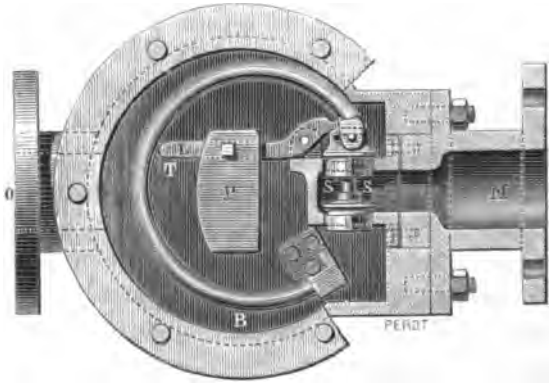


Fig. 502.

la pression de la vapeur s'exerce au-dessus du piston, celle de l'atmosphère au-dessous, de sorte que l'action de ce piston presse la soupape de distribution sur son siége ; mais au-dessous de ce piston se trouve placé un levier qui agit sur lui pour le relever sous l'action d'un poids placé à l'extrémité du levier ; la valve et la position de ce poids sur le levier servent à régler la pression.

1976. M. Ed. Bourdon a appliqué le principe des tubes élastiques de ses manomètres à la construction d'un régulateur représenté fig. 502.

Il se compose d'un récipient B muni de deux tubulures de raccord O, M et contenant un tube manométrique T. Ce tube agit sur une soupape double SS et est équilibré par un contre-poids P dont la position est variable sur le levier L. Un couvercle boulonné C ferme le récipient. La vapeur, arrivant par la tubulure M avant de se rendre aux appareils, entre dans le récipient en passant par la soupape ; à mesure que la pression dans ce récipient augmente, le tube s'enroule et ferme de plus en plus la soupape, qui finit par s'opposer tout à fait au passage de la vapeur au moment où la pression limite dont on a besoin est atteinte. Si alors la pression dans les appareils et par suite dans le récipient diminue, le tube se déroule et ouvre la soupape qui laisse passer une nouvelle quantité de vapeur.

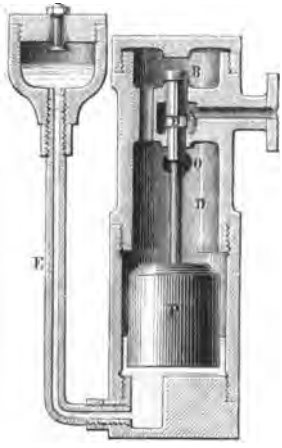


Fig. 503.

1977. Le détendeur de pression de MM. Geneste fils et Herscher frères est représenté figure 503. La vapeur arrive dans un espace A portant deux orifices fermés par deux clapets solidaires B ; le clapet inférieur est prolongé par une tige qui porte un poids P servant à presser les clapets sur leur siége et qui peut assurer la fermeture, quelle que soit la pression. Tout ce système est renfermé dans une boîte D qui porte une tubulure O par laquelle s'écoule la vapeur ; à la partie inférieure de cette boîte se trouve du mercure en quantité suffisante pour maintenir le poids soulevé ; latéralement se trouve un tube E communiquant avec la partie inférieure de la boîte et qui se termine par une coupe dans laquelle peut se rassembler tout le mercure renfermé dans l'appareil. Quand il n'y a pas de vapeur dans la boîte D, le mercure est de niveau dans la boîte et dans le tube, et le poids P est soulevé, mais quand la vapeur arrive, elle exerce un excès de pression qui fait descendre le mercure dans la boîte D et avec lui le poids P, et les clapets se trouvent fermés quand la pression est devenue suffisante pour faire baisser le niveau dans la boîte D d'une quantité déterminée. Alors la vapeur a atteint la pression limite qui se trouve mesurée par la différence de niveau du mercure dans la boîte et dans le tube E.

1978. *Poêles à vapeur.* — Les poêles à vapeur sont des vases de

différentes formes, communiquant avec une chaudière à vapeur et placés dans l'intérieur des pièces qui doivent être échauffées. On peut donner à ces vases une forme quelconque ; les conditions à remplir se réduisent à pourvoir chacun d'eux d'un souffleur et d'un tube de retour d'eau.

1979. M. Grouvelle a construit, il y a un certain nombre d'années, dans l'établissement des Néothermes, des poêles à vapeur, représen-

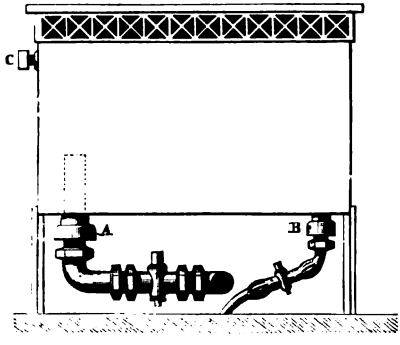


Fig. 504.

Fig. 505.

Fig. 506.

tés par les figures 504, 505 et 506. Chaque appareil est composé d'une caisse en fonte fermée de toute part ; la vapeur y arrive par le tube A, et l'eau de condensation s'échappe par le tuyau B ; le souffleur C est composé simplement d'une petite vis. L'air extérieur arrive derrière le poêle et pénètre dans la chambre à travers une grille placée à la partie supérieure de l'appareil.

1980. L'opération de la purge d'air au commencement du chauffage est, comme nous l'avons dit, indispensable, il faut de plus, lorsque les appareils viennent à se refroidir, laisser rentrer l'air pour éviter des déformations, des écrasements des appareils par le fait de la pression extérieure, de là l'emploi du souffleur et du reniflard : l'inconvénient du souffleur est qu'il doit être manœuvré à la main, ce qui est un véritable embarras lorsque le nombre des appareils à chauffer est un peu considérable ; MM. Geneste fils et Herscher frères ont imaginé un purgeur automatique qui fonctionne à la fois comme purgeur et comme reniflard, il est représenté figure 507. Il se compose de trois tubes en fer de quelques millimètres de diamètre intérieur C, C′, C″ placés parallèlement : le premier C est ouvert à

sa partie supérieure D et plonge à sa partie inférieure dans un vase E hermétiquement fermé et contenant du mercure, les deux tubes C′ et C″ forment un siphon qui vient se brancher par une de ses extrémités vers la partie inférieure du tube C et dont l'autre extrémité O débouche au bas du poêle qu'il s'agit de purger d'air; afin d'amener la rigidité du système, les trois tubes sont maintenus à la partie supérieure au moyen d'une pièce pleine K qui se visse sur le couvercle du poêle. La vapeur vient déboucher à la partie supérieure du poêle en B, et en vertu de sa faible densité se maintient d'abord à la partie supérieure du poêle en B, en chassant l'air qui sort par l'orifice O, suit le canal formé par les trois tubes C, C′, C″ et s'échappe en D. Quand l'air est expulsé et que la vapeur a gagné la partie inférieure du poêle, le vase E s'échauffe ainsi que le mercure et l'air qu'il contient; le liquide monte dans le tube C et vient boucher l'orifice par lequel le tube C′ débouche dans C, la sortie de la vapeur se trouve dès lors interceptée.

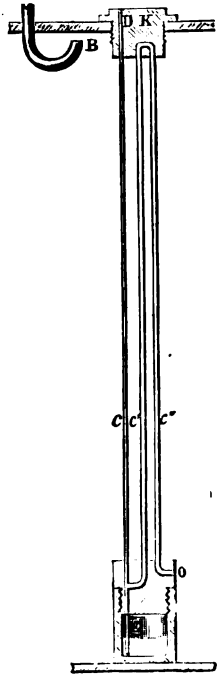


Fig. 507.

Quand le refroidissement s'opère, le mercure redescend, l'orifice de communication devient libre et l'air rentre dans le poêle par l'ouverture D.

1981. Dans le cas de chauffages intermittents, l'emploi de la vapeur est surtout avantageux en ce que les poêles sont rapidement échauffés et rapidement refroidis; les poêles présentent en effet une masse faible et qui emmagasine peu de chaleur, de sorte que la dépense de vapeur est presque rigoureusement celle qui convient exactement à la durée du chauffage. Mais dans le cas d'un chauffage à peu près continu, le refroidissement rapide du poêle à vapeur est un inconvénient sérieux en ce qu'il exige un service nocturne que l'on peut éviter quand on emploie les calorifères complétement céramiques ou le chauffage à eau chaude. On peut remédier à cet inconvénient en remplissant partiellement les poêles d'une substance solide ou liquide qui emmagasine la chaleur et la rend lors de l'arrêt du chauffage; parmi toutes les substances que l'on peut employer l'eau est de tout point préférable en ce que sa capacité calorifique est considérable. Nous donnons figure 508 l'instal-

lation complète d'un poêle à vapeur de MM. Geneste fils et Herscher, dans lequel cette disposition est appliquée. On voit en A le tube d'arrivée de la vapeur ; B est le détendeur de pression ; C est le purgeur d'eau automatique ; D est le poêle disposé sur un plan annulaire ; il renferme des vases G aussi annulaires et fixés à sa paroi intérieure. Ces vases renferment de l'eau ; B est le tuyau de retour d'eau ; le poêle est entouré d'une enveloppe K qui en fait un calorifère ; l'air pénètre dans l'enveloppe par la partie inférieure et sort en O par la partie supérieure de l'enveloppe. Le rôle de l'eau dans cet appareil est facile à comprendre ; elle est pendant la durée du chauffage élevée à une température supérieure à 100°, soit 110° ; quand le refroidissement a lieu, la vapeur se condense en partie à l'intérieur du poêle, la pression diminue, et l'eau des vases entre en ébullition, et cette ébullition continue tant que la température n'est pas abaissée au-dessous de 100° ; au-dessous de cette température, la pression intérieure tend à s'abaisser, l'air rentre par le purgeur automatique pour la maintenir et le chauffage n'a plus lieu que par les parois chaudes des vases à eau et l'évaporation lente du liquide. Cette disposition permet de joindre les avantages spéciaux du chauffage à la vapeur à ceux du chauffage à eau chaude.

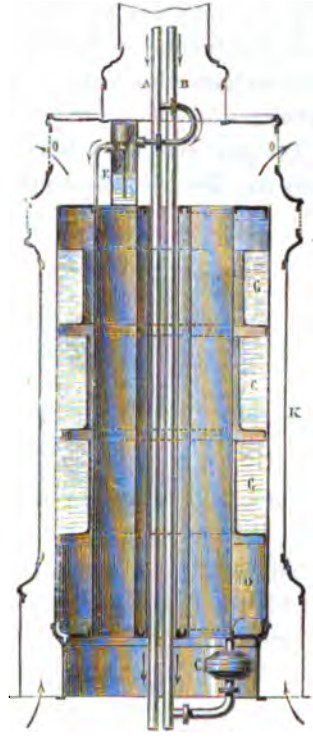


Fig. 508.

1982. On a aussi fait des poêles pleins d'eau chauffés par les tuyaux à vapeur, il faut alors que les poêles présentent une ouverture pour empêcher que la température ne puisse dépasser celle de l'ébullition de l'eau ; mais cette disposition, quoique réalisant la condition d'un refroidissement lent, nous paraît inférieure à la précédente en ce qu'elle n'a pas l'avantage que présente cette dernière de l'échauffement rapide du poêle.

1983. *Calorifères à vapeur.* — Dans tout ce qui précède, nous n'avons parlé que des appareils placés dans les lieux mêmes qui

doivent être échauffés. Mais on emploie souvent la vapeur pour chauffer l'air, qui est introduit ensuite dans les pièces à chauffer et à ventiler.

1984. La disposition la plus simple des calorifères à vapeur consiste dans des caniveaux en briques, renfermant un ou plusieurs tuyaux dans lesquels circule de la vapeur, et que parcourt l'air qui doit s'échauffer ; ces caniveaux peuvent être au-dessus ou au-dessous du sol. L'air doit marcher en sens contraire de la vapeur, attendu que la pression et par conséquent la température de la vapeur décroissent de l'extrémité par laquelle arrive la vapeur à l'extrémité par où s'échappe l'eau de condensation. Les tuyaux sont supportés par des rouleaux en fonte d'un diamètre plus petit au milieu que vers les bouts, et qui reposent sur des socles en fonte, ou sur le sol, ou dans des cavités pratiquées dans les murs latéraux du caniveau.

On peut employer différentes dispositions de boîtes à vapeur réunies par des tuyaux en plus ou moins grand nombre ; mais lorsque

Fig. 509.

Fig. 510.

la vapeur doit circuler simultanément à travers un grand nombre de tuyaux, il en résulte un grave inconvénient, parce qu'il est plus difficile d'expulser complétement l'air, au commencement du chauffage ; et comme les tuyaux qui conservent de l'air condensent fort peu de vapeur, il en résulte souvent une perte de surface de chauffe et des inégalités de dilatation qui occasionnent des fuites. Pour y remédier, il faut en général, et autant que possible, faire parcourir à la vapeur

un seul tuyau, qui peut être contourné de différentes manières, pourvu que la pente soit toujours dirigée dans le même sens.

1985. On peut disposer le tuyau comme l'indiquent les figures 509, 510; le circuit doit être enveloppé d'une caisse communiquant par le bas avec l'air extérieur, et par le haut avec le lieu dans lequel se rend l'air chaud. Si les tubes étaient d'un petit diamètre et devaient avoir une très-grande longueur pour présenter une surface de chauffe suffisante, il serait convenable de placer dans la même enveloppe plusieurs tubes ayant chacun un souffleur. Des tubes de $0^m,03$ de diamètre ne devraient pas avoir plus de 20 à 30 mètres de longueur. Ils peuvent être en cuivre ou en fer; dans ce dernier cas ils coûtent beaucoup moins, et n'exigent pas autant de supports. Ces dispositions, assez simples, seront d'un bon emploi, lorsqu'on aura à réaliser un chauffage intermittent, mais dans le cas où le chauffage devrait être continu, il y aurait lieu, pour éviter le service de nuit du chauffeur, d'employer des poêles à eau chauffée par la vapeur, ou de garnir les poêles de vases pleins d'eau comme dans le poêle Geneste.

CHAPITRE VI

Chauffage de l'air par des calorifères à eau chaude à basse pression

1986. Lorsque de l'eau chaude est renfermée dans un vase fermé, elle se refroidit, et par conséquent échauffe l'air environnant. L'eau ayant une grande chaleur spécifique, un poids peu considérable de ce liquide peut échauffer un très-grand volume d'air. Par exemple, 1 kilog. d'eau à 100°, en se refroidissant jusqu'à 20°, laisse dégager 80 unités de chaleur, qui peuvent échauffer de 10° : $8 \times 4 = 32^k$ d'air, ou $\frac{32}{1,3} = 24^{mc},61$. Aussi on emploie souvent, dans l'économie domestique, des vases pleins d'eau chaude, pour entretenir des corps à une douce température.

1987. Tous les appareils que nous avons décrits pour le chauffage à vapeur, pourraient servir de calorifères à eau chaude; pour cela, il suffirait de remplir les vases ou les tuyaux d'eau bouillante, et quand cette eau serait suffisamment refroidie, de la faire écouler et de la remplacer par d'autre eau chaude.

Mais on peut facilement établir dans les tuyaux une circulation continue d'eau chaude, par la différence de densité du liquide chaud, et de celui qui est refroidi. En effet, soit A (*fig.* 511), une chaudière, BCEF un tuyau partant de la partie supérieure de la chaudière, et aboutissant par l'autre extrémité à sa partie inférieure. L'appareil étant complétement rempli d'eau, et la chaudière étant chauffée par un foyer, l'eau la plus chaude tendra à monter à la partie supérieure, et bientôt le liquide de la colonne d'eau BC ayant une plus faible densité que celui de la colonne EF, il se produira un mouvement dans le sens ABCEFA; ce mouvement sera continu, parce que la température de l'eau dans la colonne descendante sera toujours moins élevée que dans la colonne ascendante.

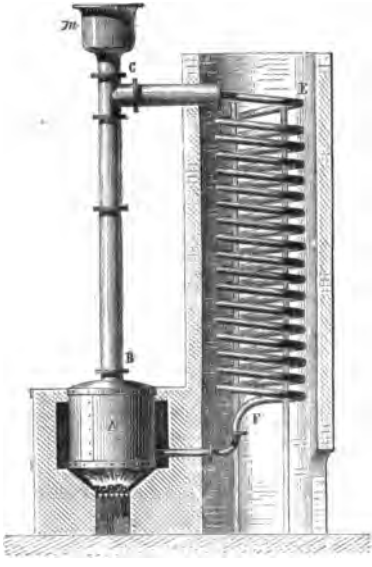


Fig. 511.

1988. Il est évident que, pour rendre la circulation plus active, il faut disposer l'appareil de manière que le tuyau ascendant fasse le moins possible de contours, afin que le liquide s'y refroidisse peu, et qu'au contraire, le canal descendant présente une grande surface. Le tuyau ascendant est toujours terminé par un vase ouvert, *m*, désigné sous le nom de vase d'expansion, qui sert à l'introduction de l'eau dans l'appareil, au dégagement de l'air quand on chauffe pour la première fois, et dans lequel s'effectuent les variations de volume de l'eau.

1989. Le courant descendant peut être formé de tuyaux parcourant les salles, comme dans le chauffage à vapeur, et l'eau peut y séjourner dans des poêles de différentes formes. Les poêles de tous les étages pourraient être parcourus par le même courant d'eau chaude; mais pour éviter le décroissement de température du courant, à mesure qu'on s'éloigne de l'étage supérieur, il pourrait y avoir un courant spécial pour chaque étage, comme l'indique la figure 512. Ils pourraient être traversés par des tuyaux ouverts aux deux bouts, dans lesquels s'échaufferait l'air de la pièce ou de l'air pris à l'extérieur.

1990. Le premier appareil de chauffage à l'eau chaude a été établi par Bonnemain, en 1777, pour maintenir une température constante dans un couvoir artificiel. L'appareil se composait (*fig.* 513) d'une petite chaudière à foyer intérieur A, d'un tube BC, qui s'élevait au-dessus de la chaudière et communiquait avec un autre tube qui, après avoir parcouru les différents étages du couvoir, revenait au bas de la chaudière par le tube DE; le tube F servait à remplir la chaudière, et le tube G à l'écoulement de l'eau résultant de l'accroissement de volume du liquide par son échauffement. La chaudière renfermait, pour régler la température de l'eau, un appareil qui se composait d'un cylindre de fer vertical renfermant une tige de plomb, fixée par son extrémité inférieure, et dont l'autre extrémité agissait sur un levier relié à un registre qui faisait

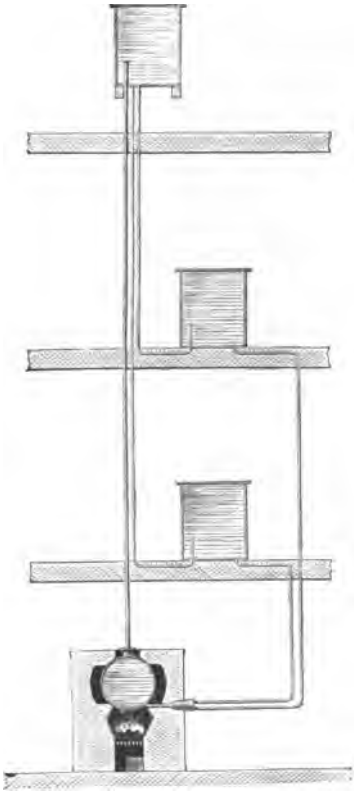


Fig. 512.

Fig. 513.

varier la section d'arrivée de l'air dans le foyer. Cet appareil, malgré quelques imperfections, est remarquable pour l'époque à laquelle il a été construit.

1991. Le chauffage par l'eau chaude a été employé en 1820, par le marquis de Chabannes, pour des maisons particulières et des établissements publics. Les frères Price, de Bristol, prirent en France, en 1831, pour ce système de chauffage, un brevet d'invention et de perfectionnement, dans lequel se trouvent indiquees toutes les

dispositions dont j'ai parlé. Enfin ces appareils se trouvent décrits complétement dans un ouvrage publié par Robertson en 1839. Depuis, M. Léon Duvoir a pris de nombreux brevets relatifs au chauffage par l'eau chaude, sans apporter toutefois aucune modification importante aux dispositions d'ensemble ou aux appareils.

1992. *Calorifères à eau chaude.* — Les appareils qui ont pour objet de chauffer l'air en dehors des pièces, sont disposés d'une manière analogue à celui que nous avons décrit (1987). Dans les calorifères à eau chaude se produit un phénomène que nous avons déjà signalé dans certains calorifères à air chaud, et qui permet de diminuer beaucoup la longueur du circuit et de leur donner des formes beaucoup plus simples. Quand l'eau chaude en descendant, au lieu de parcourir un seul canal, se divise dans plusieurs tuyaux, quels que soient d'ailleurs leurs formes, leurs diamètres et leurs longueurs, le liquide s'écoule dans tous à la fois et avec des vitesses qui ne diffèrent qu'à cause des frottements que le liquide éprouve, et qui sont parfaitement égales quand les tubes sont dans les mêmes conditions; car, si l'on supposait que la vitesse fût plus petite dans un tuyau que dans tous les autres, le liquide y serait plus froid, et par suite la vitesse augmenterait. C'est d'ailleurs un fait bien constaté par l'expérience. Il résulte de là qu'il n'y a jamais que très-peu de différence entre les températures des diverses parties de l'appareil, et que les joints ne sont pas sujets à s'altérer comme dans certains calorifères à vapeur. C'est d'après ce principe que sont construits les calorifères que nous allons décrire.

1993. La figure 514 représente un appareil dans lequel les tuyaux de chauffe sont en fonte; ils font plusieurs circonvolutions horizontales dans le même plan vertical, et sont embranchés sur deux tuyaux horizontaux, placés à la hauteur des deux extrémités de la colonne d'eau chaude.

1994. La figure 515 représente une forme et une disposition beaucoup plus convenables pour les tuyaux horizontaux; avec une moindre circulation, on en obtiendrait plus de surface de chauffe, et aucune veine d'air n'échapperait au contact des surfaces métalliques. En employant cette disposition, il faudrait compter toutes les surfaces extérieures comme surfaces de chauffe.

1995. La figure 516 représente le calorifère à eau chaude de M. H.-C. Price, qui est employé dans un assez grand nombre d'établissements publics en Angleterre. Les surfaces de chauffe sont des caisses en fonte, étroites, verticales, de section carrée, ayant

1^{mq} de surface ; elles sont en communication par deux angles oppo-

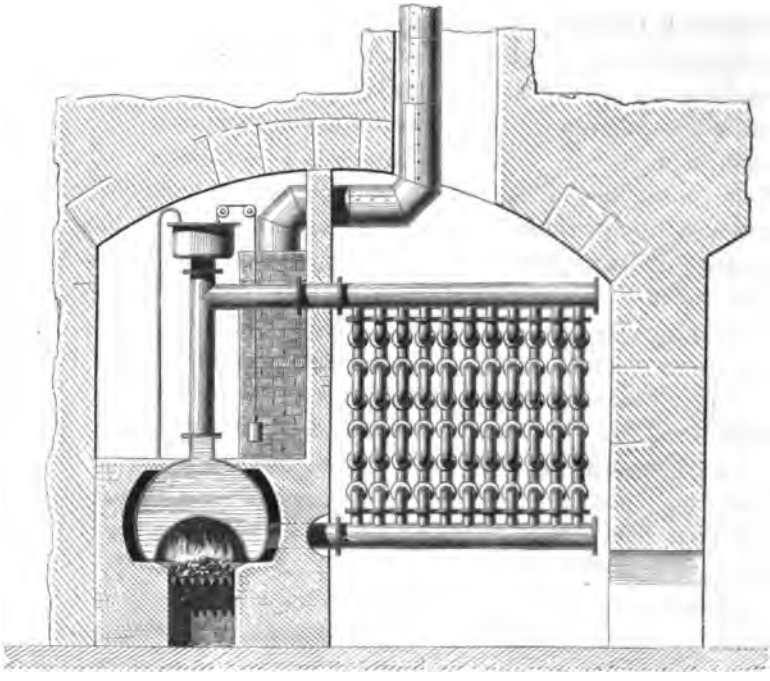


Fig. 514.

sés avec deux tuyaux horizontaux. On fait les joints en interposant

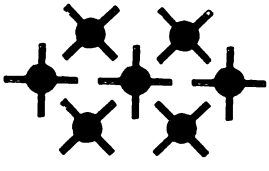


Fig. 515.

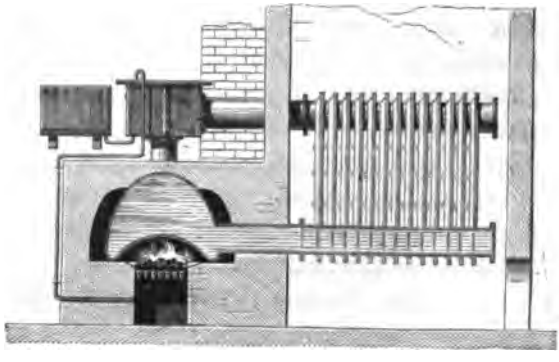


Fig. 516.

entre les collets une toile en fil de fer, enduite de mastic rouge ; ce mode de jonction a très-bien réussi. Ces appareils, quoique entière-

ment dépourvus de compensateurs, ne perdent pas, et les joints n'ont jamais besoin d'être réparés.

1996. Il y aurait un grand avantage à placer, entre les canaux rectangulaires parcourus par l'eau, et au milieu de leurs intervalles, des lames de tôle verticales qui s'échaufferaient par le rayonnement des surfaces de fonte et qui transmettraient ensuite la chaleur à l'air par le contact.

On peut facilement se rendre compte de la faible influence des variations de température sur les tuyaux de chauffage : supposons que le tuyau inférieur horizontal communiquant avec le bas de la chaudière soit fixe ; pour une variation de 100°, la partie supérieure du tuyau d'ascension de l'eau chaude s'élèvera de $0^m,0012$ par mètre ; l'ensemble des tuyaux de descente s'élèvera moins ; car si l'on suppose que l'eau rentre dans la chaudière à 30°, la température moyenne serait de 65°, et l'élévation par mètre, de $0,0012 \,.\, 0,65 = 0^m,0008$.

Ainsi il y aurait, dans le tube de communication du tuyau ascendant à l'appareil de chauffage, une flexion de 4 dixièmes de millimètre par mètre, flexion que peut très-bien supporter ce tuyau, s'il est assez long et surtout s'il est en tôle, pourvu que la hauteur de l'appareil soit peu considérable. Dans toutes les dispositions, si l'appareil de chauffage avait une grande hauteur, il faudrait faire le tuyau de communication en cuivre, et lui donner la forme d'une S, afin de faciliter le mouvement provenant des inégales dilatations des appareils de chauffage et de refroidissement.

1997. Il serait facile de disposer ces appareils de manière que le chauffage fût continu, ou du moins de manière que le foyer n'eût besoin d'être alimenté qu'à des intervalles assez éloignés. Toutes les dispositions que nous venons d'indiquer pourraient aisément être employées, ainsi que celles qui sont relatives aux calorifères à air chaud, en remplaçant les canaux destinés au chauffage de l'air par des canaux remplis d'eau qui communiqueraient avec la partie supérieure et la partie inférieure des réservoirs communiquant eux-mêmes avec la partie supérieure et la partie inférieure des tuyaux destinés au chauffage de l'air extérieur.

1998. MM. Thomas et Laurens ont construit, il y a un certain nombre d'années, dans une raffinerie de sucre, un calorifère à eau chaude, disposé d'une manière particulière. Ils avaient pour but d'utiliser la chaleur des eaux de condensation de deux appareils d'Howard, et de faire servir plusieurs fois la même eau à la condensation de la vapeur. On condensait par heure à peu près 900 kilogram-

mes de vapeur, et l'eau de condensation était à 45°. Les figures 517 et 518 représentent une coupe verticale et une coupe horizontale de l'appareil. AA est un réservoir dont le fond est garni de douze tubes en cuivre ; il est placé dans une chambre en bois GG, ouverte en haut et en bas ; chacun de ces tubes en renferme un autre C, concentrique, qui s'élève au-dessus du réservoir ; à la partie inférieure, l'intervalle des tubes concentriques est fermé, et de petits tubes D, D... établissent une communication entre ces espaces annulaires et un tube I à trois branches horizontales H, H, H. L'eau chaude est élevée dans le réservoir A, au moyen d'une pompe, et s'y maintient à une hauteur sensiblement constante, au moyen du robinet à flotteur E, et du tuyau F qui sert de trop-plein ; l'eau chaude descend par les douze conduits annulaires, passe par les tubes D dans les tuyaux H, par lesquels elle s'écoule ; tandis que l'air extérieur monte dans les tuyaux C et se répand dans les greniers. Ces tuyaux renferment des plaques de zinc qui s'échauffent principalement par le rayonnement des tuyaux enveloppants, et qui transmettent ensuite cette chaleur à l'air par le contact.

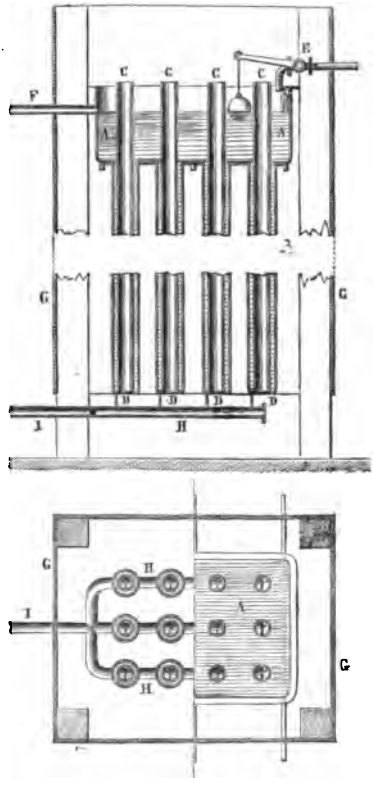


Fig. 517 et 518.

1999. Les calorifères à eau chaude sont quelquefois placés dans les pièces mêmes qui doivent être échauffées. Dans les serres, l'appareil se compose de la chaudière, et d'un tube peu incliné qui part du sommet de la chaudière, parcourt la longueur du bâtiment, et revient au bas de la chaudière.

2000. *Chauffage des habitations par la circulation de l'eau chaude.* — Pour un bâtiment renfermant plusieurs étages, l'appareil comprend la chaudière, le tuyau d'ascension, le vase d'expansion, un certain nombre de poêles placés dans les pièces, et des tuyaux établissant la communication du réservoir avec les poêles. Ordinaire-

ment les poêles d'un même étage se trouvent dans un même circuit communiquant avec le vase d'expansion et avec le bas de la chaudière.

La détermination des dimensions des différentes parties des appareils, pour obtenir un effet donné, est une question assez compliquée, si on veut la traiter d'une manière générale, mais qu'on peut facilement résoudre dans chaque cas particulier, de manière à obtenir une approximation suffisante.

2001. Les dimensions des chaudières doivent toujours être calculées pour le cas le plus défavorable, c'est-à-dire pour celui où il y a le plus de chaleur à produire. La surface de chauffe se calculera comme pour les chaudières à vapeur ; mais ici toute la surface de la chaudière devient surface de chauffe, et par conséquent, pour la production de la même quantité de chaleur transmise, la surface totale de la chaudière est plus petite que pour les générateurs. On parviendrait facilement à refroidir l'air brûlé à 100°, en plaçant le tuyau d'ascension dans la cheminée. Comme dans ces chaudières il ne se forme point d'autre dépôt que celui du carbonate de chaux tenu en dissolution par un excès d'acide carbonique qui se dégage au premier instant du chauffage, on peut employer des formes quelconques de chaudières. Dans certaines circonstances, les pressions qu'elles doivent supporter sont très-faibles ; c'est ce qui arrive toujours quand les circuits n'ont qu'une petite hauteur et que les vases d'expansion sont ouverts. Quand le contraire a lieu, les pressions peuvent être très-grandes ; car chaque hauteur de 10 mètres dans la colonne d'ascension correspond à peu près à une atmosphère, et la pression pourrait être augmentée par la fermeture du tuyau d'ascension. Dans tous les cas il faut employer des chaudières de tôle, et la meilleure disposition consiste à la former de deux cylindres concentriques, avec foyer intérieur, et à faire passer ensuite l'air brûlé sur la surface extérieure. On pourrait aussi placer dans le cylindre intérieur des tuyaux courbes communiquant avec la chaudière en deux points inégalement élevés.

La figure 519 représente une coupe d'une chaudière verticale : A, foyer ; BB, chaudière annulaire ; C, C, tuyaux pleins d'eau formant des appendices à la chaudière ; D, tuyau d'ascension de l'eau chaude ; HE, tuyau de dégagement de l'air brûlé ; FF, canal de descente de l'air brûlé ; G, canal conduisant l'air brûlé à la cheminée. Cette disposition a l'avantage de diminuer le volume de l'appareil de chauffage direct, par suite la perte de chaleur à travers la ma-

çonnerie environnante, et le temps nécessaire à l'établissement du régime, par la diminution de la masse d'eau à chauffer directement. La disposition que je viens d'indiquer pourrait être modifiée d'un grand nombre de manières différentes ; mais il faut éviter, même pour les chaudières qui ne doivent supporter qu'une faible pression, les formes qui tendent à changer. Une condition indispensable à remplir consiste à obliger l'eau à s'élever sur tous les points de la chaudière ; car s'il y avait des surfaces contre lesquelles l'eau fût obligée de descendre pour s'élever ensuite dans le grand canal d'ascension, ce qui arriverait si ce tuyau ne partait pas du point culminant de la chaudière, celle-ci ne serait pas complétement remplie d'eau, et la tôle pourrait être brûlée. Il est toujours avantageux d'employer de grandes grilles et des feux languissants.

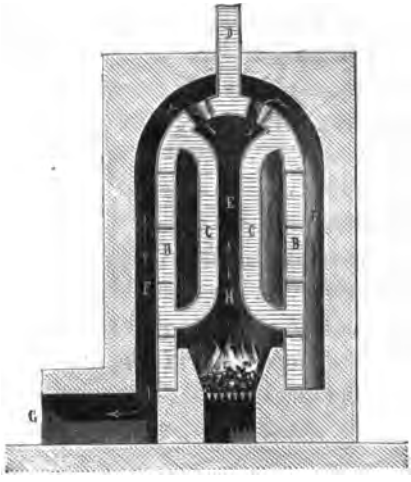


Fig. 519.

Malgré cette précaution, il peut arriver que l'ébullition se produise dans la chaudière et se continue dans le tuyau d'ascension ; il en résultera des soubresauts et des déversements ; pour éviter ces inconvénients, on peut, comme l'ont fait MM. Geneste fils et Herscher frères, placer dans la chaudière un tube contenant de l'eau qui se réduit en vapeur un peu au-dessus de 100°. Cette vapeur agit sur un piston libre qui ferme alors le registre de la cheminée et met en action un sifflet d'alarme ou tout autre appareil avertisseur.

2002. La cheminée doit être pourvue d'un registre destiné à régler la combustion. On pourrait utiliser une partie de la chaleur renfermée dans l'air brûlé à sa sortie du fourneau, en le faisant passer dans un calorifère parcouru par de l'air de ventilation. En augmentant la section du circuit à air brûlé, on arriverait facilement à abaisser sa température à 50°, tout en conservant un bon tirage, surtout, ce qui arrive ordinairement, quand la cheminée a une grande hauteur. Le calorifère à air pourrait être disposé de bien des manières différentes : la plus simple consisterait, si la cheminée n'était pas isolée, à placer dans son intérieur une série de tubes,

ayant la hauteur d'un étage, fermés par les deux bouts, et communiquant par le bas avec l'air extérieur, et par le haut avec la partie supérieure de l'étage.

2003. Les tuyaux d'ascension peuvent être en tôle ou en fer étiré. La fonte doit être abandonnée, quand les pressions dépassent 4 à 5 atmosphères. On n'emploiera le fer étiré que dans le cas où les tuyaux doivent avoir un petit diamètre.

2004. Les vases d'expansion sont en tôle ou en fonte. Leur capacité doit excéder 0,5 du volume total de l'appareil, pour qu'ils puissent recevoir l'accroissement du volume de l'eau. Ils sont ordinairement recouverts par une plaque percée d'un orifice. De cette manière, la pression à la partie supérieure de l'appareil ne peut jamais dépasser la pression atmosphérique. La vapeur, qui se forme quelquefois dans la chaudière et les tuyaux, peut ainsi se dégager facilement; comme lorsqu'elle se produit elle arrive à gros bouillons, il est bon de donner au vase d'expansion une assez grande section pour éviter l'entraînement de l'eau et des projections à l'extérieur.

On a quelquefois fermé hermétiquement le vase d'expansion et on y a placé une soupape de sûreté pour empêcher la pression de dépasser une certaine limite. Cette disposition, qui permet d'élever la température dans les tuyaux et les poêles à eau chaude, et par suite de réduire la surface de chauffe, présente des inconvénients tellement graves que je n'hésite pas à dire qu'elle doit être proscrite. En effet, la soupape est dans les combles du bâtiment et le chauffeur dans la cave, et on peut compter qu'il n'en surveillera pas le jeu; si elle venait à adhérer sur son siége, ce qui pourrait arriver quand elle n'a pas fonctionné depuis longtemps; et si un ou plusieurs robinets de distribution étaient fermés, ou si la circulation était interrompue par de l'air accumulé dans certains points du circuit, ou enfin si une obstruction se manifestait dans ces tuyaux étroits, le chauffage serait ralenti ou supprimé dans certaines parties; le chauffeur serait conduit à augmenter l'activité du foyer, et il en résulterait un accroissement de pression qui pourrait produire la rupture de la chaudière ou des vases dans lesquels la circulation a lieu. En outre, la charge de la soupape est à la disposition du chauffeur, qui pourrait l'augmenter à volonté, pour obvier, dans un temps très-court, à l'effet d'une négligence dans son service.

On pourrait remplacer la soupape de sûreté par un manomètre à air libre, qui laisserait dégager la vapeur quand la pression aurait

atteint une certaine limite; mais, en général, le tube devrait avoir une trop grande section, pour laisser dégager toute la vapeur qui pourrait se produire. Ainsi, à mon avis, il est toujours préférable de ne point produire de pression dans le vase d'expansion.

2005. Lorsque l'appareil est destiné au chauffage intérieur d'un bâtiment à plusieurs étages, chacun des étages est chauffé par un circuit particulier; chaque tuyau formant l'origine de ces circuits partiels doit partir du fond du vase d'expansion et être garni d'un robinet, au moyen duquel on peut faire varier la quantité d'eau qui le parcourt. Ces tuyaux doivent toujours être courbés de manière à obéir facilement aux effets qui résultent des variations de température. Ils sont ordinairement en fer étiré et réunis par des écrous roulants. Ils pourraient être en cuivre, soudés à la soudure forte. Il serait dangereux d'employer du plomb, surtout si la pression était un peu élevée, parce que le plomb, étant presque entièrement dépourvu d'élasticité, s'étend par la pression et ne revient pas à ses dimensions primitives quand la pression cesse. Les tuyaux de zinc seront rejetés, parce que ce métal change de forme et de dimension par la chaleur, sans revenir à son état primitif par le refroidissement, et qu'on est obligé d'employer des soudures à l'étain, qui, se dilatant d'une autre manière que le zinc, cassent souvent. C'est par cette dernière raison qu'il ne faut jamais employer des tuyaux de cuivre soudés à l'étain. Ces tuyaux, placés dans les greniers ou sous les planchers, doivent être environnés de matières peu conductrices de la chaleur; lorsqu'ils doivent rester libres, en les recouvrant d'une feuille d'étain, on diminue de moitié la quantité de chaleur qu'ils perdraient si leur surface était terne. Ils doivent avoir la pente nécessaire pour que l'air qu'ils contiennent avant le remplissage et celui qui se dégage de l'eau pendant son échauffement puissent facilement s'écouler par le vase d'expansion. Si l'on était obligé de leur donner la forme d'un siphon, il faudrait que le point le plus élevé fût au-dessous du niveau de l'eau dans le vase d'expansion, et que ce point fût garni d'un robinet ou d'un orifice fermé par une vis, pour laisser dégager non-seulement l'air qui s'y trouve au moment du remplissage, mais encore celui que l'eau laisse dégager par suite de son échauffement. L'accumulation progressive de l'air dans un coude rétrécit d'abord la veine et finit par interrompre la circulation ; l'interruption n'a pas lieu aussitôt que l'air occupe l'espace qui se trouve au-dessus du plan horizontal mené par le point le plus bas de la courbure, parce que l'inégalité de densité de l'eau dans

les deux colonnes produit une différence de niveau qui favorise l'écoulement à travers l'air, d'autant plus que la différence de poids des deux colonnes est plus grande.

2006. Les appareils de chauffage sont des tuyaux de fonte placés dans des caniveaux pratiqués dans l'épaisseur des planchers ou au-dessous du sol, dans lesquels circule de l'air extérieur, qui, après s'être échauffé, se dégage dans les pièces; la disposition est la même que pour le chauffage à vapeur.

2007. Pour diminuer le nombre des joints, on a quelquefois employé de grandes caisses rectangulaires en fonte, peu profondes, dont les grandes faces sont maintenues par des entretoises venues de fonte. La figure 520 représente une vue de l'appareil et une

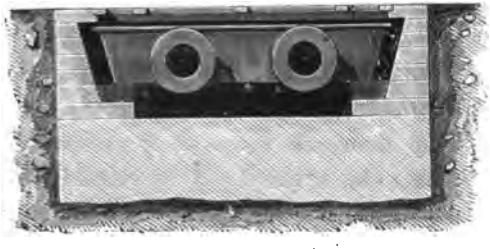


Fig. 520.

Fig. 521.

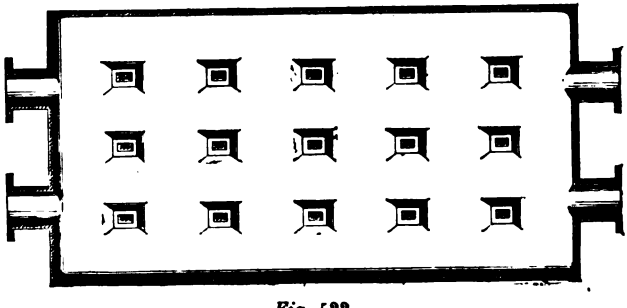


Fig. 522.

coupe transversale du caniveau dans lequel il est placé; la figure 521 est une coupe transversale de la caisse, et la figure 522 une coupe horizontale suivant l'axe des tubulures.

2008. D'autres fois, les appareils de chauffage consistent en caisses cylindriques en fonte ou en tôle, garnies à la partie inférieure de deux tubes : l'un, qui se prolonge à une certaine hauteur, communique avec le tuyau qui amène l'eau chaude; l'autre, qui part du

fond, est destiné à l'écoulement de l'eau refroidie. Ces caisses sont ordinairement traversées par un ou plusieurs tuyaux verticaux ouverts par les deux bouts et parcourus par l'air de ventilation.

2009. M. Duvoir-Leblanc emploie des poêles en fonte formés de deux cylindres concentriques ; le plus petit est ouvert par les deux bouts et donne passage à l'air extérieur; l'intervalle des deux cylindres renferme de l'eau. Le fond du vase annulaire et les parties cylindriques ne forment qu'une seule pièce, et la partie supérieure est fixée par un joint au mastic de fonte. On augmenterait à peu de frais l'effet du tube extérieur, en y plaçant des feuilles de tôle disposées comme dans les figures 445 à 448.

2010. Les poêles à eau chaude en tôle sont préférables. On leur donne la forme qui convient le mieux au local ; en y adaptant un grand nombre de tubes verticaux traversés par l'air, il est toujours facile d'obtenir une surface de chauffe suffisante.

Quelle que soit la forme des poêles, ils doivent toujours être percés à la partie supérieure d'un petit orifice, ordinairement fermé par une vis, qui sert au dégagement de l'air.

Quelquefois les surfaces extérieures des poêles en fonte sont polies, mais c'est un enjolivement qui coûte très-cher, car la quantité de chaleur émise est diminuée de moitié.

2011. Les poêles ne doivent jamais être employés avant d'avoir été essayés à une pression beaucoup plus forte que celle qu'ils doivent supporter. Ceux en fonte risquent de donner lieu à de graves accidents (1). L'essai préalable ne me semble pas suffisant pour en motiver l'usage, à cause de leur grand diamètre et des grandes pressions qu'ils éprouvent dans les rez-de-chaussée des bâtiments élevés, même quand le vase d'expansion est ouvert ; car les essais des poêles sous des pressions bien supérieures à celles qu'ils doivent supporter, mais qui ne durent jamais qu'un temps très-court, ne peuvent pas donner l'assurance qu'ils résisteront toujours sous des pressions permanentes beaucoup plus petites ; et les appareils construits jusqu'ici ne datent que de quelques années. D'ailleurs, dans les conduites d'eau, il y a très-souvent des tuyaux qui cassent, malgré la faible variation de température qu'ils éprouvent, et cependant ils ont toujours été essayés sous des pressions quatre ou cinq fois plus élevées que celles qu'ils supportent habituellement ; les chemises des cylindres

(1) Lorsque ces lignes ont été écrites, on n'avait pas à déplorer la mort de plusieurs personnes, causée à l'église de Saint-Sulpice, par la rupture d'un poêle en fonte à eau chaude.

des machines à vapeur, qui sont disposées de la même manière que les poêles de plusieurs établissements publics, cassent quelquefois, malgré les épreuves qu'elles ont subies. D'ailleurs c'est un principe bien reconnu que la fonte ne convient, pour soutenir de fortes pressions, que lorsqu'elle est en tuyaux d'un petit diamètre, et qu'on ne doit l'employer, pour des vases d'un grand diamètre, que s'il y a impossibilité complète de la remplacer par de la tôle. Enfin les poêles en tôle ne sont pas d'un prix plus élevé que ceux de fonte, à cause de la différence des épaisseurs qui compense à peu près la différence des prix de ces métaux. Si l'on ajoute à toutes ces considérations la gravité des conséquences de la rupture d'un poêle à eau chaude, on sera nécessairement conduit à préférer dans tous les cas la tôle à la fonte, à moins qu'il ne s'agisse de vases d'un petit diamètre.

2012. Les poêles peuvent être remplacés par des serpentins en fer ou en cuivre, environnés d'une enveloppe dans laquelle circule l'air extérieur ou l'air de la pièce ; il serait plus avantageux de donner au serpentin la forme d'une hélice conique que d'une hélice cylindrique. Pour obtenir une plus grande surface de chauffe sous le même volume, on pourrait employer plusieurs hélices concentriques que l'eau parcourrait simultanément. L'eau s'élèverait d'abord, par un tuyau central, à la partie supérieure des spires, et descendrait ensuite en les parcourant ; mais la partie culminante de l'appareil devrait être percée d'un orifice fermé par un bouchon à vis, qui servirait à faire dégager l'air pendant le remplissage, et qu'il faudrait ouvrir de temps en temps, pour évacuer l'air qui se serait accumulé dans le haut des spires et qui pourrait interrompre la circulation ; en plaçant un petit réservoir à la partie supérieure de l'appareil, on éviterait l'inconvénient d'avoir à ouvrir souvent l'orifice de dégagement de l'air.

2013. Quand les calorifères à eau chaude sont placés dans les pièces mêmes qui doivent être chauffées, et que les surfaces de chauffe sont libres, on peut admettre comme une approximation suffisante, pour des excès de température inférieure à 30°, limite qui est rarement dépassée, que les quantités de chaleur émises par mètre carré et par heure sont sensiblement représentées par $8t$, t étant l'excès de température ; dans ces conditions la quantité de chaleur rayonnée est sensiblement égale à celle qui provient du contact de l'air. Si les surfaces étaient en métal poli, la quantité de chaleur émise serait à peu près diminuée de moitié.

2014. Quand l'air est chauffé en passant dans des tuyaux, l'effet du rayonnement disparaît, et il ne s'échauffe plus que par le contact. Il

résulte de l'expérience que la quantité de chaleur absorbée est à peu près la moitié de celle qu'une surface émettrait à l'air libre dans les mêmes conditions ; aussi, dans ce cas, il faut prendre $4t$ pour la quantité de calories émises par mètre carré et par heure, quand l'appel est produit naturellement par le tuyau et que la vitesse est à peu près celle de l'air chaud s'élevant dans un espace indéfini. Mais si l'air, attiré par une cheminée d'appel, parcourait le tuyau avec une grande vitesse, il serait porté à une température moins élevée, et absorberait pourtant une plus grande quantité de chaleur, qui varierait très-probablement avec le diamètre du tuyau. Les expériences manquent sur ce sujet important ; cependant, comme les vitesses d'écoulement sont rarement considérables et que les tuyaux n'ont jamais qu'une petite longueur, en attendant que des expériences positives permettent de résoudre cette question, je pense qu'on peut prendre, dans tous les cas, $4t$ pour le nombre de calories que le tuyau transmet à l'air, par mètre carré et par heure.

2015. Enfin, si l'air est échauffé dans un calorifère placé en dehors des pièces à chauffer, les phénomènes deviennent encore bien plus compliqués. Suivant la forme et la disposition des tuyaux parcourus par l'eau chaude, il y a une partie plus ou moins grande de la chaleur rayonnée qui est employée à chauffer la surface de chauffe ; et suivant la vitesse de l'air, la quantité de chaleur qu'il absorbera sera plus ou moins grande. Si les tuyaux parcourus par l'eau chaude sont disposés de manière que la plus grande partie de leur chaleur rayonnante arrive sur la surface de l'enceinte, ou si l'on a placé des feuilles de tôle convenablement disposées pour recevoir les rayons qui n'y arriveraient pas directement, comme la vitesse de l'air est rarement très-grande, je pense qu'on s'éloignera peu de la vérité en supposant que la quantité de chaleur émise est égale à celle qui sortirait de l'appareil, s'il était exposé à l'air libre, à la température moyenne de l'air à l'entrée et à la sortie.

2016. On peut admettre que lorsque l'appareil produit son maximum d'effet, l'eau chaude y entre à 90° et qu'elle revient dans la chaudière à 30° ; la température moyenne de l'eau serait alors de 60°. Dans le cas d'un chauffage intérieur et d'une température de l'air de 15°, l'excès moyen serait de 45°, et la quantité de chaleur transmise par mètre carré et par heure serait de $8 . 45 = 360$ calories; mais elle serait de $8 . 75 = 600^c$ à la partie supérieure, et de $8 . 15 = 120^c$ à la partie inférieure. Ainsi, si les pièces des différents étages devaient être également chauffées, en supposant trois étages, les surfaces de

chauffe devraient être dans le rapport des nombres 16, 32, 83, si le même courant les parcourait successivement. La différence entre ces surfaces irait évidemment en diminuant à mesure que la température de l'eau rentrant dans la chaudière serait plus élevée ; mais elle ne pourrait pas être nulle, parce qu'il faudrait pour cela qu'il n'y eût pas de refroidissement, et alors la circulation n'aurait pas lieu. Ainsi il est impossible de déterminer les surfaces de chauffe, chauffées par le même courant d'eau chaude, nécessaires pour produire le même effet dans chaque étage, attendu que le rapport de ces surfaces varie avec la température de rentrée de l'eau refroidie dans la chaudière, température qui change avec l'activité du foyer ; il faut alors des circuits partiels pour chaque étage, et on peut prendre des surfaces de chauffe égales. Si le chauffage s'effectue par de l'air échauffé dans un appareil spécial, rien de semblable n'a lieu, et il faut alors s'arranger de manière à faire entrer le même volume d'air chaud dans chaque étage.

2017. Examinons maintenant la cause du mouvement de l'eau. De 30 à 100°, la densité de l'eau est sensiblement représentée par la formule

$$d = 1{,}0086 - 0{,}0005t,$$

en désignant par t et d la température et la densité de l'eau chaude. Appelons t' et d' la température et la densité de l'eau au bas du circuit, et H la hauteur totale du circuit ; la hauteur de la colonne ascensionnelle d'eau chaude ramenée à t' sera $H\frac{d}{d'}$; celle de la colonne descendante sera $H\frac{(d+d')}{2d'}$; la différence, qui représentera la charge en vertu de laquelle l'eau chaude rentrera dans la chaudière, sera $H\frac{(d'-d)}{2d'}$; et si l'on désigne par R la fraction qui représente la réduction que la vitesse théorique V éprouve par les frottements, la vitesse d'accès de l'eau refroidie en mètres sera :

$$v = RV = R\sqrt{\frac{2gH(d'-d)}{2d'}} = R\sqrt{\frac{2gH \times 0{,}0005(t-t')}{2(1{,}0086 - 0{,}0005t')}}.$$

En représentant par S la section du tuyau de retour en mètres carrés, au bas du circuit, et par A la quantité de chaleur employée par seconde au chauffage, on aura :

$$A = 1000SRV(t-t') \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (a)$$

Dans chaque cas particulier A est connu, et on pourra facilement trouver le diamètre qu'il convient de donner au tuyau d'entrée et de sortie de l'eau dans la partie du circuit où l'eau se refroidit, comme nous allons le voir.

2018. Le circuit total se compose toujours de la chaudière, du canal d'ascension et du canal de retour, formé lui-même d'un tuyau unique ou de réservoirs réunis par des tuyaux de même section. Alors la valeur de R est donnée par la formule (464),

$$R=\sqrt{\frac{1}{1+\frac{KH}{D}\ \frac{D'^4}{D^4}+\frac{KL}{D}+n+n'}},$$

K étant égal à 0,024, D et H représentant le diamètre et la hauteur du tuyau d'ascension, L et D′ la longueur totale du tuyau de retour, n le nombre des poêles, et n' le nombre de changements brusques de direction à angle droit, ou la moitié du nombre des changements contenus sous le même angle. Dans la valeur de R tout est connu excepté d; si le tuyau d'ascension avait un grand diamètre, le second terme du dénominateur de la valeur de R pourrait être négligé, et on aurait :

$$A^2=\left(1000\,\frac{\pi D'^2}{4}\right)^2\cdot V^2\,\frac{D'(t-t')^2}{KL+(n+n'+1)D'}=\frac{MD'^5}{N+PD'}\ \ldots\ldots\ (b)$$

équation du 5me degré en D′, mais qu'on pourra facilement résoudre par la méthode des approximations successives.

2019. Si la valeur de D n'était pas très-grande relativement à D′, on serait conduit encore à une équation du 5me degré, mais qui serait très-compliquée ; mais, dans ce cas, on arriverait encore très-simplement à une valeur approchée de D′ par la méthode suivante. On négligerait d'abord, comme précédemment, le terme KH $\frac{D'^4}{D^5}$; la valeur de D′ qu'on obtiendrait permettrait de calculer la valeur du terme négligé, dont on ajouterait la valeur à $n+n'+1$ ou à P ; on aurait une nouvelle équation qui donnerait une nouvelle valeur de D′, et on continuerait ainsi jusqu'à ce que deux valeurs de D′ consécutives différassent de moins de 0^m,001. Ces calculs sont peut-être longs, mais ils ne présentent pas de difficultés.

2020. Si le calorifère était placé en dehors des pièces à chauffer, en supposant les surfaces de chauffe d'une étendue suffisante, on serait conduit aux mêmes calculs pour les diamètres des orifices d'accès et de sortie. Il faudrait vérifier, en outre, si la vitesse d'écoulement de

l'air chaud, résultant de sa température et de la section du canal, est suffisante. L'examen d'un cas particulier fera facilement voir ce qu'il faudra faire dans un cas quelconque.

2021. Considérons un pavillon isolé, composé de trois étages, ayant chacun 5 mètres de hauteur, $0^m,50$ d'épaisseur de plancher, 6 mètres de largeur et 20 mètres de longueur. Supposons que le nombre d'unités de chaleur à fournir par heure à chaque étage soit de 20000 calories par heure, et par conséquent de $\frac{20000}{3600} = 5,5$ par seconde; admettons que la colonne d'eau ascensionnelle soit de 18 mètres, et qu'il y ait cinq poêles à chaque étage, parcourus successivement par le même courant. La vitesse théorique de retour de l'eau refroidie V sera de $2^m,33$, en supposant $t = 90°$ et $t' = 30$. Chaque tuyau de retour, parcourant deux fois la longueur du bâtiment, et une fois la hauteur, aura 58 mètres de développement, et on aura $KL = 0,024.58 = 1,39$. Le nombre des rélargissements brusques sera égal à 5, et on aura $n = 5$. Le nombre des changements de direction à angle droit sera de 2 pour chaque poêle, et de 5 dans le reste du circuit; et en admettant, ce qui arrive toujours, que les changements aient lieu par une courbure des tuyaux, la valeur de n' sera 7,5. Par suite, l'équation (b) donnera, en l'élevant au carré,

$$(5,5)^2 = \left(\frac{1000\pi}{4}\right)\frac{2(2,33)^2.60^2.D'^5}{1,39 + 13,5D'}\ ;\ \text{ou } 30,25 = \frac{12046000000D'^5}{1,39 + 13,5D'};$$

et par suite

$$D'^5 = 0,000000003414 + 0,0000000339D'.$$

En négligeant d'abord le second terme du second membre, et substituant successivement à la place de D' dans ce terme la dernière valeur de D' obtenue, on trouve successivement pour D' les valeurs : $0^m,0202$; $0^m,02100$; $0^m,02105$.

2022. Ces calculs sont faciles; mais ils deviendraient longs et compliqués, si le diamètre du tuyau d'ascension n'était pas très-grand relativement à celui du tuyau du circuit descendant, ou si leur rapport n'était pas donné. En général, comme il ne s'agit pas de calculer le diamètre des tuyaux à quelques millimètres près, il est plus commode de chercher, par quelques tâtonnements, le diamètre du tuyau de retour. Dans le cas dont il s'agit, en supposant $D' = 0,02$, on trouve $R = 0,11$; $v = 0,25$; $S = 0,000314$; le volume écoulé par seconde est de 0^{mc}, 0000785; en litres, il serait de 0,0785; et le nombre d'unités de chaleur correspondant serait

de 0,0785 . 60 = 4,71 ; ainsi D′ = 0,02 est trop petit. En supposant D′ = 0,03, on trouve R = 0,13 ; v = 0,30 ; S = 0,000706 ; le volume écoulé est de 0^{mc}, 00021 ; en litres, il est de 0,21 ; et la quantité de chaleur correspondante serait de 0,21.60 = 12,6. Ainsi le diamètre cherché est compris entre 0,02 et 0,03. Ce mode de tâtonnement est évidemment applicable à tous les cas qui peuvent se présenter.

On pourrait supposer un moindre refroidissement ; alors la vitesse d'écoulement diminuerait, la section du tuyau deviendrait plus grande, et les surfaces de chauffe produiraient plus d'effet. Il est évident que le maximum correspondrait à une température de l'eau, dans le canal descendant, égale à celle du tuyau d'ascension ; on ne peut pas l'atteindre, parce que la vitesse d'écoulement serait nulle, mais on peut en approcher d'autant plus que la hauteur du circuit est plus considérable et que la section du tuyau est plus grande. Il est important de remarquer que, dans le cas où la température de l'air des pièces serait de 15°, l'excès moyen de température serait de 65 — 15 = 40° ; et que, dans le cas où l'eau conserverait la température de 90°, l'excès de température serait de 90 — 15 = 75. Ainsi l'effet des surfaces de chauffe par l'accroissement de la valeur de D′ augmenterait seulement dans le rapport de 50 à 75, ou dans celui de 2 à 3.

2023. Lorsque, dans un appareil ayant des dimensions fixes, le foyer brûlant la quantité de houille nécessaire pour produire au sommet de la colonne descendante 90°, et 30° au bas, on augmente l'activité du foyer, la température de la colonne ascendante et la vitesse de circulation augmentent, ainsi que la température de l'eau au bas du circuit ; la quantité de chaleur transmise augmente aussi, mais jusqu'à une certaine limite, correspondant à la température de 100° si le vase d'expansion est ouvert. Si l'on diminuait la consommation de combustible, la température de la colonne ascendante, la vitesse de la circulation, la température moyenne du liquide descendant et la quantité de chaleur transmise diminueraient en même temps.

2024. Pour comparer les quantités de chaleur transmises par la vapeur et par l'eau chaude dans les mêmes circonstances, considérons deux tuyaux de même section S, conduisant, l'un de l'eau sous la pression de 2 atmosphères, et par conséquent à 121° ; l'autre, de la vapeur sous la même pression et à la même température. La vitesse d'écoulement de la vapeur étant de 423 mètres, on trouve que la

quantité de chaleur transmise par seconde par la vapeur, à travers une tranche du tuyau, est de S . 299 unités. La densité de l'eau à 121° étant à peu près de 0,948, la charge en eau chaude sera de $10^m,89$; la vitesse d'écoulement de $14^m,61$; et, par suite, la quantité de chaleur transmise à travers la section S sera de 1686 S unités, nombre à peu près cinq fois et demie plus grande que le premier. Mais, dans les chauffages à eau chaude, la charge qui produit l'écoulement, $H \frac{(d' - d)}{2d'}$, est toujours très-petite, même pour de grandes hauteurs ; en supposant $H = 40^m$, $t = 121°$, $t' = 30°$, on a $d = 0,9481$, $d' = 0,9956$; et, par suite, la charge devient $0^m,88$; la vitesse est égale à $4^m,15$, et la quantité de chaleur qui traverserait la tranche serait de 490 S unités de chaleur.

2025. *Chauffage par des circuits partiels d'eau chaude, dont les réservoirs sont chauffés par la vapeur.* — Quand les bâtiments à chauffer ont une grande étendue, le chauffage par un seul circuit présenterait beaucoup de difficultés. Dans ce cas, M. Grouvelle emploie une disposition qui consiste dans l'établissement de circuits partiels, dont les réservoirs sont chauffés par un serpentin à vapeur. Nous reviendrons sur cette disposition, en parlant du chauffage et de la ventilation des établissements publics.

CHAPITRE VII

Chauffage de l'air par l'eau chaude à haute température.

2026. M. Perkins a imaginé, il y a déjà longtemps, un autre mode de chauffage de l'air par l'eau chaude, et son système est maintenant employé dans un grand nombre d'établissements publics d'Angleterre, parmi lesquels nous citerons plus spécialement le Musée Britannique. Le calorifère de Perkins se compose d'un circuit de tuyaux, comme pour le chauffage à eau chaude ordinaire, mais il n'y a pas de poêles ; les tuyaux n'ont qu'un petit diamètre, le vase d'expansion est exactement fermé, et enfin l'eau est portée, du moins en sortant du foyer, à une température très-élevée. Une partie du circuit est placée dans un fourneau, le reste circule dans les pièces qui doivent être chauffées, ou serpente dans les caisses ouvertes par les deux bouts, où il échauffe l'air qui doit servir au chauffage et à la ventilation.

2027. *Disposition générale des appareils.* — La figure 523 représente la disposition la plus simple des appareils dont il est question. Le circuit A*a* C*b* B*c* A est exactement fermé. A, B, C sont trois spirales à bases circulaires ou carrées formées par le tube : l'une, A, est placée dans un foyer; les autres, dans les pièces qui doivent être échauffées ; *m* est un vase dans lequel se fait l'expansion de l'eau ; *n*, un orifice pour le dégagement de l'air quand on remplit l'appareil. L'eau chaude, arrivée à la partie supérieure du circuit, peut descendre en se divisant de manière à chauffer simultanément plusieurs serpentins, comme dans le chauffage par l'eau chaude à basse pression.

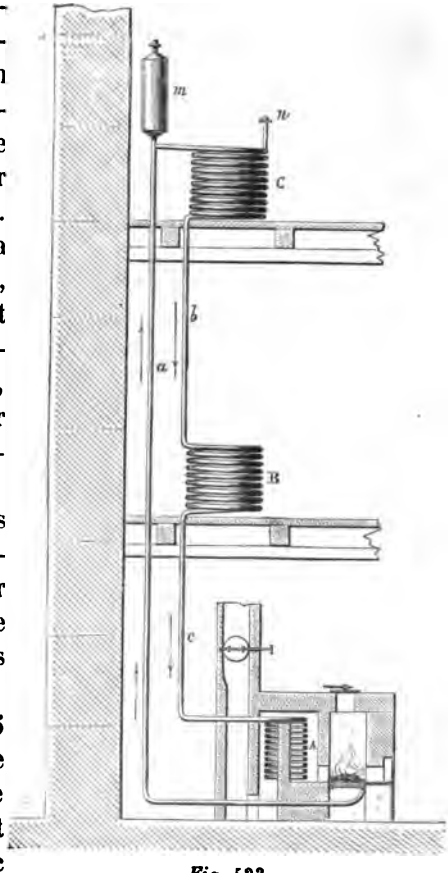


Fig. 523.

On comprend facilement les dispositions qu'il faudrait employer pour chauffer de l'air extérieur, qui serait ensuite introduit dans les différentes pièces.

2028. Les tuyaux ont 0,^{m}025 de diamètre extérieur (1 pouce anglais), 0^{m},0125 de diamètre intérieur, et ordinairement 4 mètres de longueur. Avec ces dimensions, ils peuvent supporter une pression supérieure à 3000 atmosphères. Les tuyaux sont essayés à la presse hydraulique sous une pression de 200 atmosphères, mais ils sont quelquefois soumis à une pression beaucoup plus grande.

2029. La figure 524 représente la fermeture d'un tuyau à un des bouts. Le tuyau est taraudé, et son extrémité est taillée en biseau ; il est recouvert d'un écrou dont le fond est plat ; en serrant fortement l'écrou, le biseau du tuyau entre dans le fer de l'écrou, et forme un joint parfaitement étanche.

On voit (*fig.* 525) le moyen qu'on emploie pour fermer un orifice percé dans un vase de fer terminé par une surface plane. La partie inférieure du talon de la vis présente un biseau annulaire dont l'arête, par un fort serrage, s'applique exactement sur la surface plane du vase.

Fig. 524.

Fig. 525.

2030. Les figures 525 et 527 représentent le mode de jonction de deux tuyaux réunis bout à bout ; les deux extrémités des tuyaux sont taraudées dans le même sens ; le bout de l'un d'eux est plat, celui de l'autre est en biseau. On les réunit par un écrou taraudé, à gauche dans un bout, et à droite dans l'autre ; en serrant l'écrou, les tuyaux ne pouvant pas tourner, tendent à se rapprocher ; et par un fort serrage on obtient un joint parfait. J'ai vu des tuyaux dans lesquels le biseau de

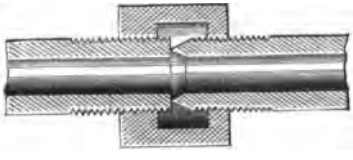


Fig. 526.

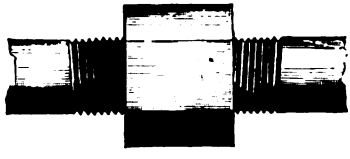


Fig. 527.

l'un d'eux avait pénétré de près de 1 millimètre dans le plan qui terminait l'autre.

2031. Le vase d'expansion est un tube d'un plus grand diamètre que les tubes de circulation ; il est placé à la partie la plus élevée du circuit. Sa capacité doit être au moins des 0,30 de la capacité totale des tubes. A côté du tube d'expansion se trouve un tube d'une moindre hauteur, destiné, comme nous l'avons dit, à faire écouler l'air quand on remplit l'appareil d'eau. Les orifices du vase d'expansion et du tube à air se ferment par la disposition indiquée figure 525.

2032. On pourrait remplir l'appareil en versant simplement de l'eau par le tube d'expansion, le tube à air étant ouvert. Mais, comme les tubes n'ont qu'un très-petit diamètre, il serait à craindre qu'il ne restât de l'air dans l'appareil, circonstance qui l'empêcherait de marcher et qui pourrait produire de graves accidents. On opère généralement le remplissage au moyen d'une pompe foulante, qui sert à essayer l'appareil sous une pression d'au moins 200 atmosphères.

On introduit longtemps, par le tube d'expansion ou par le tube à air, de l'eau qui sort par celui des deux orifices qui reste ouvert.

2033. Lorsque la partie du circuit qui descend du sommet de la colonne ascendante renferme plusieurs branches, l'eau circule simultanément dans toutes, comme nous l'avons déjà remarqué plusieurs fois, et tous les calorifères partiels sont chauffés. On a essayé différentes dispositions pour arrêter le mouvement de l'eau dans un ou plusieurs de ces tuyaux, mais on n'a rien obtenu de satisfaisant. Dans tous ces appareils on chauffe toujours tous les embranchements.

2034. *Fourneaux.* — On a reconnu par expérience que la longueur des tubes renfermés dans le foyer devait être à peu près un sixième de la longueur totale du circuit. Il y a des fourneaux dans lesquels la grille du foyer est formée par des tubes de circulation, comme dans la figure 523. Les figures 528 et 529 représentent le fourneau employé dans les calorifères du Musée Britannique. La première est une coupe verticale, et la seconde une coupe horizontale. Le foyer est alimenté par la partie supérieure ; l'air brûlé parcourt un canal qui fait le tour du foyer et dans lequel circulent les tubes.

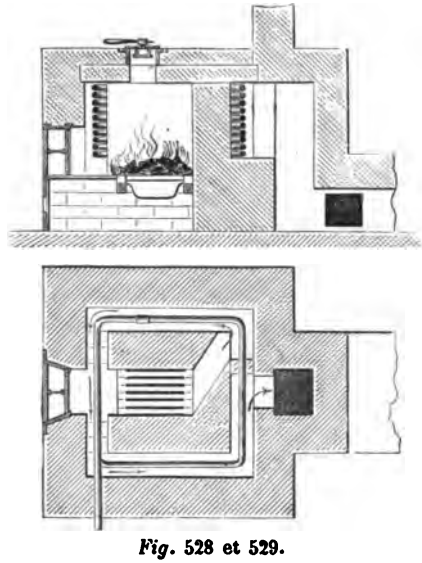


Fig. 528 et 529.

2035. M. Gandillot, qui construit en France des calorifères Perkins, emploie un foyer rectangulaire (*fig.* 530), divisé en deux compartiments égaux par une murette transversale qui laisse à droite et à gauche un carneau pour le passage des tubes et de la fumée ; la grille est dans le compartiment antérieur, la cheminée, dans l'autre. Le tube qui forme le serpentin est monté sur une seule rangée latéralement ; transversalement il est monté sur deux rangs. Quand les appareils sont destinés à chauffer des pièces dont le volume de l'ensemble ne dépasse pas 200 mètres cubes, le serpentin du fourneau est cylindrique et son enveloppe est en fonte, l'appareil présente alors à peu près $0^m,40$ de diamètre sur $0^m,60$ de hauteur.

2036. Dans les appareils qui existent en Angleterre, la température des tuyaux, à la partie supérieure du circuit, est ordinairement de 300 à 400° Fahrenheit, à peu près de 150 à 200° centigrades ; à la partie inférieure de la colonne descendante, près du foyer, elle n'est que de 60 à 70° centigr. Ces températures correspondent à des pres-

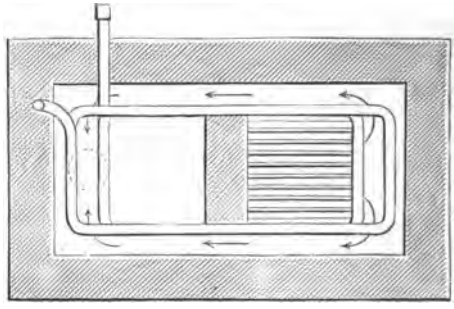


Fig. 530.

sions de 4 à 15 atmosphères seulement. Mais, comme dans le foyer les tubes peuvent être portés au rouge, les pressions intérieures peuvent devenir beaucoup plus considérables ; si l'eau atteignait la température du rouge obscur, qui correspond à peu près à 500°, la pression s'élèverait à plus de 500 atmosphères. Dans le cas d'excès de pression dans l'appareil, il peut y avoir une rupture qui se fait toujours dans le foyer ; en général, c'est une simple fissure longitudinale par laquelle s'échappe un mince filet d'eau qui se vaporise en gagnant la cheminée.

2037. Malgré tous les soins apportés dans la fabrication des appareils, on constate à l'origine et cela pendant un temps assez long une perte d'eau, ce qui oblige à en ajouter tous les huit ou dix jours une petite quantité dans l'appareil. D'après M. Gandillot, cette fuite n'est qu'apparente et tient à la difficulté qu'il y a de chasser l'air renfermé dans l'appareil au moment du remplissage ; sous l'influence de la circulation de l'eau, cet air se rend dans la partie supérieure et doit être remplacé par de l'eau ; quoi qu'il en soit de l'explication, le remplissage à intervalle est nécessaire pour une bonne marche.

2038. D'après M. Gandillot, on emploie 30 mètres de tuyaux, dont 5 dans le foyer, pour 100 mètres cubes d'air à chauffer ; les tuyaux contiennent 20 litres d'eau par 100 mètres. Le vase d'expansion pour 150 mètres de tuyaux a une capacité de 10 litres environ, soit le 1/3 de la capacité totale. La consommation, d'après des expérien-

ces faites par le génie militaire à la prison du Cherche-Midi, chauffée par ce système, est de $5^{kil},5$ par 100 mètres cubes d'air à chauffer à 15 ou 16° pendant 10 heures, la température extérieure étant zéro.

2039. On ne donne jamais aux tubes un développement total qui excède 150 à 200 mètres, afin que la circulation s'établisse convenablement, à moins qu'il n'y ait plusieurs embranchements et que la hauteur de l'appareil ne soit considérable. Dans le Musée Britannique, toutes les circulations sont simples ; mais un fourneau sert pour deux appareils. En 1842, il y avait 18 fourneaux et 36 circuits, qui ont coûté 90,000 francs.

2040. Dans les pièces à chauffer, les tuyaux peuvent être placés directement à l'angle d'un mur et d'un plancher ; disposés en serpentin, si l'on veut augmenter la surface de chauffe ; dissimulés dans l'intérieur de coffres fermés par des plinthes à jour, si l'on ne veut pas que les tuyaux soient apparents ou enfin disposés en serpentin cylindrique dans une enveloppe de poêle calorifère.

2041. M. Gandillot joint quelquefois l'emploi de l'air chaud à celui de l'eau chaude ; il enveloppe le serpentin du foyer d'une cloche en fonte et l'espace existant entre la cloche en maçonnerie forme une chambre dans laquelle l'air extérieur vient s'échauffer.

TABLE DES MATIÈRES

RENFERMÉES DANS LE DEUXIÈME VOLUME.

LIVRE VII

Vaporisation.

		Pages.
CHAPITRE	I. Des générateurs de vapeur en général	1
—	II. Indicateurs de niveau	25
	Indicateurs à robinets	25
	Indicateurs à tube de verre	28
	Indicateurs à flotteur	32
—	III. Manomètres et thermomètres	40
	Manomètres à air libre	40
	Manomètres à air comprimé	47
	Manomètres métalliques	50
	Observations générales sur les manomètres	52
	Thermomètres	53
—	IV. Soupapes de sûreté et plaques fusibles	54
	Soupapes de sûreté	54
	Plaques fusibles	67
—	V. Alimentation des chaudières a vapeur	68
	Appareils d'alimentation	68
	Chauffage de l'eau d'alimentation par la chaleur perdue	88
—	VI. Appareils pour séparer de la vapeur l'eau qu'elle entraîne	92
—	VII. Fourneaux	95
—	VIII. Incrustations des chaudières et influence de certaines eaux d'alimentation	99
—	IX. Conduite des chaudières a vapeur	138
—	X. Dispositions diverses des générateurs a vapeur	142
	Générateurs fixes	142
	Chaudières tubulaires	164

Pages.

CHAPITRE XI. Générateurs chauffés par la chaleur des gaz qui s'échappent de certains fourneaux 201
— XII. Explosions des chaudières a vapeur 213
— XIII. Améliorations a introduire dans les générateurs 226
Générateurs fixes 226
Générateurs des bateaux 229
Générateurs des locomotives 230
— XIV. Phénomènes qui se produisent dans la transmission de la chaleur de la surface intérieure de la chaudière a l'eau 233

LIVRE VIII

Distillation.

CHAPITRE I. Distillation simple 237
— II. Appareils de distillation a effets multiples 257
— III. Appareils de distillation et d'analyse des vapeurs 260

LIVRE IX

Évaporation.

CHAPITRE I. Évaporation spontanée a l'air libre 300
— II. Évaporation d'un liquide a la température ordinaire par un courant d'air forcé 303
— III. Évaporation en vases ouverts, par l'action directe d'un foyer. 305
— IV. Évaporation d'un liquide chaud, par un courant d'air forcé froid ou chaud 315
— V. Évaporation directe par l'air brulé 320
— VI. Évaporation par la vapeur 323
— VII. Évaporation dans le vide 342
— VIII. Appareils d'évaporation dans lesquels la chaleur est employée plusieurs fois 355

LIVRE X

Séchage.

CHAPITRE I. Extraction de l'eau par une action mécanique 379
— II. Séchage a l'air libre 383
— III. Séchage par un courant d'air produit artificiellement 384
— IV. Séchage par la chaleur 387
Séchage par l'air chaud 387
Séchage par le chauffage direct 402

Pages.

CHAPITRE V. Régulateurs de température..... 403
— VI. Dispositions des séchoirs a air chaud..... 410
— VII. Séchage du linge..... 423
— VIII. Dessiccation du bois et de la tourbe..... 432
— IX. Dessiccation des légumes..... 445
— X. Torréfaction du tabac a fumer..... 448
— XI. Séchage des étoffes par rayonnement..... 452
— XII. Séchage des corps par leur application contre des surfaces métalliques chauffées..... 454
— XIII. Séchage des matières pulvérulentes..... 459
— XIV. Séchage dans le vide..... 466

LIVRE XI

Chauffage de l'air.

CHAPITRE I. Calorifères a air chaud placés dans les pièces qui doivent être chauffées et ventilées..... 471
Calorifères à alimentation continue..... 478
— II. Calorifères placés loin des lieux qui doivent être échauffés. 488
— III. Calorifères destinés a chauffer l'air a une haute température. 511
— IV. Calorifères chauffés par la chaleur perdue des fourneaux.... 529
— V. Chauffage de l'air par la vapeur..... 531
— VI. Chauffage de l'air par des calorifères a eau chaude a basse pression..... 555
— VII. Chauffage de l'air par l'eau chaude a haute température... 574

FIN DU DEUXIÈME VOLUME.

CORBEIL. — TYP. ET STÉR. DE CRÉTÉ

89088904958

b89088904958a

89088904958
B89088904958A